

SÉRIE A n° 344

N° D'ORDRE
1008.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

E. C. TÉODORESCO

1^{re} THÈSE. — INFLUENCE DES DIVERSES RADIATIONS LUMINEUSES SUR
LA FORME ET LA STRUCTURE DES PLANTES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 9 Novembre 1899 devant la Commission d'examen

MM. BONNIER	<i>Président.</i>
MUNIER-CHALMAS.....	} <i>Examineurs.</i>
GIARD.....	

PARIS

MASSON ET C^{ie}, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

1899

SÉRIE A N° 344

N° D'ORDRE

1008.

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES NATURELLES

PAR

E. C. TÉODORESCO

1^{re} THÈSE. — INFLUENCE DES DIVERSES RADIATIONS LUMINEUSES SUR
LA FORME ET LA STRUCTURE DES PLANTES.

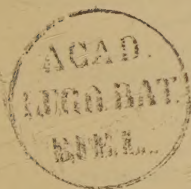
2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le 9 Novembre 1899 devant la Commission d'examen

MM. BONNIER *Président.*

MUNIER-CHALMAS..... } *Examineurs.*

GIARD..... }



PARIS

MASSON ET C^o, ÉDITEURS

LIBRAIRES DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

120, boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

1899

UNIVERSITÉ DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

Doyen	Gaston DARBOUX, <i>Professeur</i> . Géométrie supérieure.
Professeur honoraire ...	CH. HERMITE.
	DE LACAZE-DUTHIERS. Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	TROOST..... Chimie.
	LIPPMANN..... Physique.
	HAUTEFEUILLE..... Minéralogie.
	BOUTY..... Physique.
	APPELL..... Mécanique rationnelle.
	DUCLAUX..... Chimie biologique.
	BOUSSINESQ..... Physique mathématique et Calcul des probabilités.
	PICARD..... Analyse supérieure et Algèbre supérieure.
	H. POINCARÉ..... Astronomie mathématique et Mécanique céleste.
	Y. DELAGE..... Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
Professeurs	Gaston BONNIER..... Botanique.
	DASTRE..... Physiologie.
	DITTE..... Chimie.
	MUNIER-CHALMAS..... Géologie.
	GIARD..... Zoologie, Évolution des êtres organisés.
	WOLF..... Astronomie physique.
	KOENIGS..... Mécanique physique et expérimentale.
	VÉLAIN..... Géographie physique.
	GOURSAT..... Calcul différentiel et calcul intégral.
	CHATIN..... Histologie.
	PELLAT..... Physique.
	HALLER..... Chimie organique.
Professeur adjoint	PUISEUX..... Mécanique et Astronomie.
Secrétaire	FOUSSEREAU.

A

M. GASTON BONNIER

MEMBRE DE L'INSTITUT,
PROFESSEUR A LA SORBONNE.

Hommage respectueux
et témoignage de vive reconnaissance.

INFLUENCE DES DIFFÉRENTES RADIATIONS LUMINEUSES

SUR

LA FORME ET LA STRUCTURE DES PLANTES

Par M. E. TEODORESCO.

INTRODUCTION

Parmi les facteurs qui agissent le plus sur les plantes, la lumière est, sans contredit, l'un des plus importants. Les rayons lumineux pénètrent, en effet, dans l'intérieur du corps des végétaux à des profondeurs variables avec leur intensité et leur réfrangibilité ; là, leur énergie est employée à l'accomplissement des divers phénomènes physiques et chimiques. On comprend donc que l'influence de la lumière ait été l'objet de l'attention de nombreux botanistes.

Les premières recherches qui ont été faites à ce point de vue sont d'ordre à peu près exclusivement physiologique. Ce n'est qu'un peu plus tard, quand on se fut rendu compte de l'importance qu'avait l'influence du milieu sur la structure des végétaux, que l'on songea à déterminer dans quelle mesure les radiations lumineuses étaient susceptibles de produire des modifications anatomiques dans le corps des organismes végétaux. D'autre part, les anatomistes et les physiologistes étudièrent, comme il était naturel, l'influence de la lumière blanche, telle qu'elle nous vient du soleil ou d'une source artificielle. Mais ce n'était là qu'une partie de la question : la lumière blanche est, en effet, formée par la réunion de rayons lumineux de différentes couleurs, qu'il est

facile d'isoler par divers procédés, l'emploi d'un prisme par exemple.

Partant de cette considération, les botanistes songèrent à comparer l'action de chaque rayon, pris isolément, à celle de la lumière totale. Là, encore, les premières recherches ont été faites par des physiologistes, et jusqu'à présent ce sont à peu près les seules qui nous aient fourni des résultats importants.

A ma connaissance, en effet, aucun auteur n'a étudié, d'une manière suivie, l'influence des radiations des différentes réfrangibilités sur la forme et surtout sur la structure des divers organes de la plante. Cette question a été négligée, et, cependant, analyser le phénomène de l'influence de la lumière sur la structure est, je crois, au moins tout aussi important qu'analyser le phénomène de la production de la chlorophylle, de l'assimilation de l'acide carbonique, de la transpiration, etc., sous l'influence du même agent.

Il est bien évident que, connaissant l'action des différentes radiations sur la décomposition de l'acide carbonique, on ne peut pas en déduire que les changements de structure doivent varier dans le même sens, et cela pour plusieurs motifs.

Dans son classique *Manuel de Botanique*, Sachs (1) résume, comme il suit, le rôle des différentes radiations sur les phénomènes qui se passent dans la plante : « Tous les phénomènes chimiques, tous ceux au moins qui dépendent de la lumière, sont provoqués exclusivement ou principalement par des radiations de faible ou de moyenne réfrangibilité, c'est-à-dire par des radiations que notre œil voit rouges, orangées, jaunes ou vertes ; il en est ainsi de la production de la chlorophylle, de la décomposition de l'acide carbonique, de la formation de l'amidon, de la production des sucres, des substances grasses, etc. Au contraire, les radiations fortement réfrangibles, les unes visibles, comme les bleues et les violettes, les autres invisibles, comme les

(1) Sachs, *Lehrbuch Bedr otanik*, 4^e Auflage, 1874.

radiations ultraviolettes, déterminent exclusivement ou principalement des changements mécaniques, tous ceux au moins qui dépendent de la lumière : ce sont, en effet, ces radiations qui modifient la vitesse de la croissance, qui influent sur les mouvements du protoplasma, qui impriment aux mouvements des zoospores une direction déterminée, qui modifient enfin la tension des tissus dans les organes moteurs de beaucoup de feuilles et qui changent, par conséquent, la situation de ces feuilles. »

Les recherches qui ont été faites depuis sont venues modifier en partie, d'autre part compléter les énoncés de Sachs. C'est ainsi que, dans le spectre visible, le maximum de la formation de la chlorophylle correspond à peu près au minimum de l'énergie assimilatrice et *vice versa*. L'assimilation des substances minérales est variable avec la nature des radiations ; ainsi, de nouvelles recherches semblent démontrer qu'il n'y a pas assimilation de l'azote nitrique par les feuilles vertes placées derrière une solution de bichromate de potassium ou de sulfate de quinine ; mais cette assimilation est très active sous une solution de sulfate de cuivre ammoniacal ou sous l'eau. Avec les feuilles blanches de la même espèce de plante, il n'y a qu'une assimilation minime et peut-être nulle de l'azote ammoniacal à travers les solutions de bichromate de potassium ou derrière une solution de sulfate de quinine, tandis qu'à travers l'eau il s'en produit une considérable. L'assimilation de l'ammoniaque et des nitrates est donc stimulée par les rayons ultraviolets. Or, étant donnée l'importance de l'azote dans la synthèse des substances albuminoïdes, et l'influence qu'exercent les radiations sur l'assimilation de ce corps, il est à présumer que cette action retentira sur la structure des plantes exposées à des radiations différentes.

D'autre part, ainsi que nous allons le voir dans l'aperçu historique, la production de substance organique paraît varier également avec la nature des radiations ; c'est ainsi qu'on prétend que la plus grande partie des substances

organiques se forme, par ordre d'importance décroissante, dans le jaune, le rouge et le bleu.

On voit, en résumé, que toutes les radiations n'agissent pas dans le même sens, les unes accélèrent un phénomène et en diminuent un autre, tandis que les radiations voisines font précisément l'inverse, etc. Le simple raisonnement ne suffit donc pas à faire deviner comment chaque radiation modifie la structure anatomique des plantes, et des recherches spéciales n'ont pas encore été faites pour résoudre cette question.

Le présent travail a pour but d'essayer de combler cette lacune.

Dans ce qui suit, je donnerai d'abord un *aperçu historique* des principales recherches relatives à l'action des diverses radiations sur la morphologie générale des végétaux. J'exposerai ensuite les résultats de mes propres *expériences*; je terminerai en énonçant les *conclusions* générales et en m'efforçant de les interpréter.

APERÇU HISTORIQUE

Mon intention n'est pas de passer en revue toutes les recherches qui ont été faites jusqu'à présent concernant l'influence des radiations de différentes réfrangibilités sur les plantes. Je laisserai de côté tout ce qui a trait à la physiologie proprement dite, et surtout les phénomènes photo-chlorophylliens, la respiration et la transpiration, qui ne touchent qu'indirectement à mes recherches; je résumerai seulement les travaux qui s'occupent du développement des plantes, de leur forme et de leur structure, ainsi que des différentes substances qui se forment dans les cellules.

I. — Germination.

Pfeffer (1), qui a fait des expériences sur les propagules de *Marchantia polymorpha*, Leitgeb (2) sur les spores des Hépatiques (*Duvalia*, *Preissia*), Borodine (3) sur les spores des Cryptogames vasculaires, de *Polytrichum commune* et les propagules de *Marchantia polymorpha*, étaient unanimes à admettre que la lumière est indispensable à la germination. Mais dernièrement Forest Heald (4) a trouvé que les spores des Mousses et des Hépatiques ne germent qu'à la lumière si elles n'ont à leur disposition que des substances minérales ; mais si les solutions nutritives contiennent des substances organiques (sucre, peptone), les spores peuvent germer aussi à l'obscurité. D'après le même auteur, les spores des Équisétacées germent à l'obscurité, même si elles sont semées dans des solutions minérales. Il en est de même des spores des Fougères, pourvu que la température soit assez élevée (32°).

D'après Peyritsch et Wiesner (5), les graines de *Viscum album* ne germent pas à l'obscurité.

Quant aux graines des autres Phanérogames, il semble qu'en général leur germination est indépendante de la lumière. Mais il faut bien dire que les résultats obtenus par les différents expérimentateurs sont contradictoires. C'est ainsi que les anciennes recherches de A. von Humboldt (6), Senebier (7), Ingen-Houss (8), Hunt (9), etc., avaient donné

(1) Pfeffer, *Studien ueber die Symmetrie*, etc. (Arbeiten d. bot. Inst. zu Würzburg, Bd I, p. 93).

(2) Leitgeb, *Die Keimung der Lebermoossporen* (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss. Wien, I, 1876).

(3) Borodine, *Bull. de l'Acad. de Saint-Petersbourg*, 1868, XIII, p. 432.

(4) Forest Heald, *Condition for the Germination of the spores*, etc. (Botanical Gazette, XXVI, 1898).

(5) Wiesner, *Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche*, I Theil, 1878, p. 42.

(6) A. von Humboldt, *Aphorismen* (Deutsch von Fischer, 1794).

(7) Senebier, *Physiologie végétale*, t. III, p. 396.

(8) Ingen-Houss, *Versuche mit Pflanzen*, Bd II, 1788, p. 25.

(9) Hunt, *Untersuch. ueber d. Einfluss d. Sonnenstrahlen auf d. Wachstum d. Pflanzen* (Botanische Zeitung, 1834, p. 304).

comme résultat que les graines germent plus vite à l'obscurité.

Th. de Saussure (1), au contraire, croit pouvoir conclure de ses expériences que rien ne démontre que la lumière ait, abstraction faite de la chaleur qui l'accompagne, une influence nuisible sur la germination. Depuis de Saussure, un assez grand nombre d'auteurs se sont occupés de l'influence de la lumière sur la germination; mais je ne mentionnerai que les travaux les plus récents.

C'est ainsi que Stebler (2) avait prétendu que l'obscurité retarde considérablement la germination des différentes Graminées; pour le *Poa nemoralis*, par exemple, la proportion des graines ayant germé à l'obscurité a été de 3 p. 100, tandis qu'à la lumière ce nombre s'élevait à 62 p. 100.

Mais Nobbe (3), qui a repris les expériences de Stebler, a trouvé, contrairement à l'opinion de ce dernier auteur, que les graines de Graminées germent plus vite, plus uniformément et mieux à l'obscurité qu'à la lumière.

Adrianowsky (4) arrive, pour d'autres plantes, aux mêmes résultats que Nobbe. D'après lui, les graines qui germent en un jour présentent une différence souvent très grande en faveur de l'obscurité. Ainsi, par exemple, le rapport des graines germées à la lumière et à l'obscurité a été, pour le *Cannabis sativa* 9 : 12, pour le *Brassica Napus* 17 : 62, pour le *Holcus lanatus* 24 : 53, etc. Quand la germination dure plusieurs jours, on observe le même fait pendant toute la durée de la germination. Seules les graines qui germent très vite, comme par exemple celles du *Spergula arvensis*, émettent leur radicule en même temps à la lumière et à l'obscurité; cependant, à une basse température, la germination a lieu, même dans ce dernier cas, plus rapidement à l'obscurité.

(1) Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, 1804, p. 24.

(2) Stebler, *Botan. Centralblatt*, Bd VI, 1881, p. 157.

(3) Nobbe, *Uebt das Licht einen vortheilhaften Einfluss auf die Keimung der Grassamen?* (Landw. Versuchsstationen, Bd XXVII, 1882, p. 347).

(4) Adrianowsky, *Wirkung des Lichtes auf die Keimung*, résumé dans le *Bot. Centralbl.*, 1884, n° 29, p. 73.

L'influence des radiations de différentes réfrangibilités sur la germination des graines a été l'objet des recherches de nombreux botanistes.

Senebier a obtenu des résultats qui ont été controuvés par Zantedeski (1). Dans les expériences de Senebier, la rapidité de la germination va en croissant du violet au rouge; dans les observations de Zantedeski, elle croît, pour les graines de l'*Iberis amara*, du rouge au jaune. De même, le développement de la pousse des bulbes de l'*Oxalis multiflora*, croît du rouge au jaune et au violet.

Les résultats obtenus par d'autres auteurs anciens, comme Morren (2), Pieper (3), Hunt (4), sont tout aussi contradictoires.

Faivre (5) a trouvé que les graines, placées dans la lumière jaune, obtenue par une solution de bichromate de potassium, développent leur chlorophylle plus rapidement que dans la lumière bleue, obtenue par l'oxyde de cuivre ammoniacal, et il prétend déduire de ce fait que la période de germination a été plus courte dans le premier cas que dans le second.

Dans le travail d'Adrianowsky (6) cité plus haut, on trouve, comme moyenne de vingt expériences, les résultats suivants :

	Lumière blanche.	Obscurité.	Violet.	Bleu.	Vert.	Orangé.	Rouge.
Graines germées.	35 0/0	58 0/0	56 0/0	49 0/0	29 0/0	48 0/0	47 0/0

Par conséquent, les graines germeraient plus vite derrière les verres colorés que derrière le verre incolore, mais moins vite que dans l'obscurité; dans la moitié la plus réfran-

(1) Zantedeski, *De l'influence qu'exercent sur la végétation des plantes et la germination des graines les rayons solaires transmis à travers des verres colorés* (C. R. de l'Acad. des Sc., t. XVII).

(2) Morren, *Sur l'influence des rayons colorés sur la germination* (Ann. des Sc. nat., 1832).

(3) Cité par Fleischer, *Beiträge zur Lehre von dem Keimen der Samen der Gewächse*, 1851.

(4) Cité par Fleischer, *loc. cit.*

(5) Faivre, *C. R. de l'Acad. des Sc.*, 24 février 1879.

(6) Adrianowsky, *loc. cit.*

gible du spectre, les graines germent un peu plus vite que dans la moitié la moins réfrangible, et surtout que dans le vert, dont l'influence retardatrice est plus grande que celle de la lumière blanche.

Enfin M. Flammarion (1) assure que pour « les semis qui ont été faits en mai, les plantes avaient germé en même temps dans les différentes serres en verres colorés, tandis que pour les semis faits à l'automne et au commencement du printemps, les différences de température, observées dans les serres, avaient fait varier l'époque de la germination. C'est ainsi que le Ray-grass, semé le 13 novembre, a germé à des époques différentes : dans la serre blanche le 5 décembre, dans la serre rouge le 7, dans la serre verte le 8, et dans la serre bleue le 15 ».

Quant à la germination des spores des Mousses, Forest Heald (2) a montré que les radiations les moins réfrangibles sont les plus actives ; dans la lumière bleue, les spores développent un peu de chlorophylle, mais elles ne germent pas.

II. — Croissance.

A. *Tige*. — Je n'insisterai pas sur le fait bien connu que la lumière a une action retardatrice sur la croissance ; je citerai cependant une exception à cette règle générale, celle du *Viscum album*, signalée par Peyritsch et Wiesner (3). Non seulement l'obscurité, mais encore une lumière faible, dont l'intensité est égale à 10,8 bougies normales, empêche totalement la croissance de l'axe hypocotylé de cette plante.

En ce qui concerne l'influence des différentes radiations sur la croissance de la tige, les plus anciennes recherches paraissent être dues à Senebier (4). Il s'est servi de cloches

(1) C. Flammarion, *Rapport sur la station climatologique agricole de Juvisy* (Bull. du Minist. de l'Agricult., 1896, n° 2, p. 276).

(2) Forest Heald, *loc. cit.*

(3) Wiesner, *Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche*, 1 Theil, 1878, p. 43.

(4) Senebier, *Mémoires physico-chimiques*, t. II, 1792, p. 55 et suiv.

à double paroi, dont il a imaginé pour la première fois la construction (« bouteilles dont le fond est repoussé dans le ventre »), et qu'il remplissait de diverses solutions colorées, Il a observé que les Laitues les plus grandes ont été celles qui ont été exposées aux radiations jaunes, ensuite celles qui ont reçu les radiations violettes, puis celles qui ont été éclairées par les radiations rouges ; nous verrons que les résultats de Senebier ont été confirmés, à une seule exception près, par les recherches récentes et plus exactes de Wiesner.

D'après les expériences de Zantedeschi (1), qui s'est servi de verres colorés, la croissance de la tige de l'*Oxalis multiflora* est retardée plus dans le rouge que dans le violet et dans le jaune moins que dans le violet. Pour l'*Echinocactus*, l'ordre du retard est le suivant : violet, jaune, rouge.

Il est à noter que les auteurs précédents se sont servis de verres ou de solutions colorées, sans prendre soin de les analyser au spectroscope. Sachs (2) a mis de la précision dans la méthode, en faisant cet examen préalable, qui seul peut fournir des données certaines sur la nature des radiations auxquelles sont soumises les plantes en expérience. Il a constaté que les tiges du *Linum usitatissimum* et du *Sinapis alba*, après leur levée à la surface du sol, se développent plus vite dans la moitié la moins réfrangible du spectre (solution de bichromate de potassium), que dans la moitié la plus réfrangible (solution de sulfate de cuivre ammoniacal) ; dans le dernier cas, les cotylédons mettent 4 à 5 jours de plus que dans le jaune pour bien s'étaler, et leur surface est de 2 à 3 fois plus petite que dans le jaune, et en même temps plus petite qu'à la lumière blanche. Sachs compare l'action de la lumière jaune à celle de la lumière totale faible, et l'action de la lumière bleue à celle de la lumière blanche très faible.

Adolph Mayer (3) cultivait des plantes dans des boîtes

(1) Zantedeschi, *loc. cit.*

(2) Sachs, *Wirkungen farbigen Lichtes auf Pflanzen* (Bot. Zeitung, 1864).

(3) Adolph Meyer, *Production von organischer Substanz*, etc. (Landwirth. Versuchsstationen, Bd IX, 1867, p. 136).

pyramidales de deux sortes : les unes avaient leurs parois formées par des verres colorés en jaune par l'oxyde de fer, les autres à parois formées par des verres incolores sur lesquels il avait collé des bandes de papier noir, éloignées les unes des autres de manière que dans les deux sortes de boîtes l'intensité de la lumière fût la même. Il a noté que la tige du *Vicia* avait la même longueur dans les deux boîtes, tandis que celle du *Pisum* était un peu plus longue dans la lumière jaune.

Paul Bert (1) a expérimenté d'abord sur de jeunes plants de *Mimosa pudica*, et ensuite sur 25 espèces de diverses Phanérogames ou Cryptogames. Tous les résultats qu'il a obtenus sont concordants, à savoir que les plantes les plus allongées sont celles qui ont poussé à la lumière blanche. Après elles viennent, en ordre décroissant, les plantes de la lumière rouge, puis celles de la lumière jaune ; il ajoute que dans les lumières bleue et violette, les tiges ne se sont pas allongées du tout.

Selon Rudolph Weber (2), après la lumière blanche, ce sont les rayons verts qui retardent le plus la croissance des tiges, puis viennent les rayons violets et rouges, qui ont la même action, ensuite la lumière bleue et enfin la lumière jaune. Remarquons qu'il n'y a pas lieu d'invoquer l'intensité de la lumière comme facteur de ce phénomène, car, d'après les mesures exécutées à l'aide d'un photomètre Bunsen, la lumière blanche était de 14,03 bougies normales, la lumière verte de 0,68, la lumière violette de 0,73, la lumière rouge de 2,74, la lumière bleue de 0,70 et la lumière jaune de 8,33.

Kraus (3), qui a fait des cultures d'*Urtica*, a trouvé que dans la lumière bleue les tiges avaient acquis 3 centimètres en longueur, dans la lumière verte 4 centimètres, et dans la

(1) Paul Bert, *Influence de la lumière verte sur la Sensitive* (C. R. de l'Acad. des Sc., t. LXX, 1870); — *Influence des diverses couleurs sur la végétation* (Ibid., t. LXXIII, 1871).

(2) R. Weber, *Ueber den Einfluss farbigen Lichtes*, etc. (Landw. Versuchsst., Bd XVIII, 1873).

(3) Kraus, *Botanische Zeitung*, 1876, p. 303 et suiv.

lumière jaune 6 centimètres. Par conséquent, ce seraient les radiations les plus réfrangibles qui retarderaient le plus la croissance des tiges, et les radiations les moins réfrangibles qui la retarderaient le moins, tandis que les radiations de moyenne réfrangibilité auraient une action intermédiaire.

Morgen (1) n'a fait des recherches que sur le *Lepidium sativum*; il dit qu'après la lumière blanche, c'est la lumière jaune, puis la lumière bleue qui retardent le plus la croissance.

Les résultats obtenus par les divers auteurs cités sont donc tout à fait discordants. D'après les uns (Senebier, Morgen), c'est la moitié la moins réfrangible du spectre qui retarde le plus la croissance de la tige. D'après les autres (Sachs, P. Bert, Kraus, Weber), c'est le contraire. Quant aux radiations de moyenne réfrangibilité, la plupart des auteurs (Zantedeschi, P. Bert, Kraus) ont trouvé que leur action retardatrice est intermédiaire entre celles des radiations les plus réfrangibles et celles des radiations les moins réfrangibles, tandis que d'autres (Senebier, Weber) disent que ce sont ces mêmes radiations qui retardent le moins la croissance.

M. Wiesner (2) a repris ensuite la question et l'a étudiée avec plus de précision. Il part de ce fait que l'héliotropisme est en relation avec la croissance et que, d'après ses recherches antérieures (3), pour les plantes les plus sensibles, on n'observe aucune flexion dans le jaune, que cette flexion commence dans le vert et va croissant jusqu'à la limite du violet et de l'ultraviolet, où elle est maximum; que d'autre part, si du jaune, où l'action est nulle, on se dirige vers l'extrémité la moins réfrangible du spectre, la flexion commence à se manifester dans l'orangé, puis devient plus forte dans le rouge, pour atteindre, dans l'infrarouge, un second maximum

(1) Morgen, *Ueber die Assimilationsprocess in d. Keimenden Kresse* (Bot. Zeitung, 1877).

(2) Wiesner, *Die heliotropischen Erscheinungen im Pflanzenreiche*, II Theil, 1880, p. 10.

(3) Wiesner, *Ibid.*, I Theil, 1878, p. 44.

beaucoup moins élevé que l'autre. Il s'est proposé de rechercher si l'influence retardatrice des différentes radiations n'est pas analogue à l'action héliotropique. Des expériences faites par cet auteur avec Mikosch, à l'aide des solutions colorées, préalablement analysées au spectroscope, il résulte les données suivantes, qui peuvent être considérées comme les plus exactes de toutes celles obtenues jusqu'à présent : 1° toutes les radiations du spectre, y compris les infrarouges, ont une action retardatrice sur la croissance, même celles (les jaunes) qui n'ont aucune action héliotropique ; 2° plus une radiation provoque activement les flexions héliotropiques, plus elle retarde la croissance ; 3° ce sont les radiations jaunes qui agissent le moins ; à partir du jaune, l'action va augmentant faiblement vers le rouge et l'infrarouge, où elle atteint un premier et faible maximum. Elle augmente plus rapidement vers l'extrémité la plus réfrangible du spectre visible, où elle atteint un second maximum beaucoup plus élevé.

Dernièrement, M. Flammarion (1) a repris cette question ; il se sert d'un spectre et, surtout, de verres colorés (« verre rouge, presque monochromatique, ne laissant passer qu'un peu d'orangé ; verre vert, moins satisfaisant ; verre bleu très voisin du violet, qui ne laisse traverser que les rayons de l'extrémité droite du spectre »). Dans la majorité des cas, il trouve que c'est dans la lumière rouge que les tiges sont plus longues ; la longueur de cet organe va en décroissant jusqu'au violet. Dans quelques cas (*Cosmos*) (2), il a observé que c'est dans la lumière verte que la tige avait la plus grande longueur. De plus, en comparant l'action de la radiation totale avec celle des diverses lumières colorées, il dit que les plantes éclairées par la lumière blanche sont plus longues que celles qui ont poussé derrière les écrans bleu, vert et même rouge. Nous verrons plus loin comment il faut expliquer ces résultats contradictoires.

(1) C. Flammarion, *Bulletin du ministère de l'Agriculture*, 1896, n° 2 ; 1897, n° 3 ; 1898, n° 4.

(2) *Ibid.*, 1898, p. 787.

B. *Racine*. — Examinons maintenant l'influence de la lumière sur la croissance de la racine. On sait que la radiation totale et équilatérale a une influence variable sur la croissance des racines. Pour la plupart des observateurs, cette action est nulle ; c'est-à-dire que les racines ayant poussé à la lumière et celles ayant poussé à l'obscurité ont approximativement la même longueur. Cependant Strehl (1), Fr. Darwin (2), Devaux (3), ont observé des cas où la lumière retarde la croissance de la racine ; d'autre part, Famintzine (4) et Lazaref (5) ont noté que les racines du *Lepidium sativum* restent plus courtes à l'obscurité qu'à la lumière.

Nous possédons peu d'observations relativement à l'action qu'exercent les différentes radiations sur la croissance de la racine. Senebier (6) dit qu'il y a une certaine corrélation entre les ramifications des racines et le développement des feuilles, c'est-à-dire que les racines, qui appartiennent aux plantes ayant des tiges effilées et pourvues de feuilles petites (par exemple chez les plantes qui ont poussé dans la lumière jaune), sont courtes et possèdent peu de chevelu. Cette observation a été vérifiée avec des Laitues, des Épinards et des Haricots.

D'après les observations de Morren (7), qui a fait des cultures avec le *Lepidium sativum*, les « radicules se développent le moins et avec le plus de lenteur dans les rayons colorés du plus grand pouvoir éclairant ; sous les rayons colorés d'un pouvoir éclairant faible, les radicules prennent un développement semblable à celui qu'elles atteignent à l'obscurité ».

Morgen (8) affirme que les racines du *Lepidium sativum*

(1) Strehl, *Untersuchungen ueber das Längenwachstum der Wurzel*, 1874.

(2) Fr. Darwin, *Arbeiten d. bot. Inst. zu Würzburg*, Bd IV, 1880, p. 521.

(3) Devaux, *De l'action de la lumière sur les racines* (Bull. de la Soc. bot. de France, 1888).

(4) Famintzine, *Mélanges biologiques* Saint-Pétersbourg, t. VIII.

(5) Lasaref, in *Botan. Jahresbericht*, Bd II, p. 775.

(6) Senebier, *Mémoires physico-chimiques*, t. II, 1792, p. 55 et suiv.

(7) Morren, *Ann. des Sc. nat.*, 1832, p. 201.

(8) Morgen, *loc. cit.*

sont plus courtes dans la lumière bleue que dans la lumière jaune.

M. Flammarion (1), qui a étudié un plus grand nombre de plantes (Sensitive, Maïs, Pois, Blé, etc.), soutient que le système racinaire est très réduit dans les plantes de la serre rouge et presque nul dans celles de la serre bleue. Le poids des racines (frais probablement) a été trouvé pour la Sensitive de 5 grammes dans la serre blanche, de 1^{er},60 dans la serre rouge, de 0^{er},09 dans la serre verte et de 0^{er},05 dans la serre bleue (2).

C. *Feuille*. — En ce qui regarde la feuille, il faut d'abord mentionner qu'en ce qui concerne l'intensité de la lumière totale, les expériences de M. Dufour (3) ont démontré qu'à un éclaircissement plus intense les feuilles arrivent à des dimensions plus grandes, et cela dans tous les sens, en surface comme en épaisseur; il a constaté que parfois les feuilles pouvaient acquérir une surface double de celle qu'elles atteignent à l'ombre. Il en est de même pour l'épaisseur. Stahl (4) avait indiqué comme un fait général qu'à l'ombre les feuilles ont une surface plus grande qu'au soleil, et que cette surface serait d'autant plus grande que l'endroit où les plantes croissent est plus ombragé, et cela jusqu'à une certaine limite, à partir de laquelle, la quantité de lumière devenant insuffisante, le développement cesse d'être normal; il se produit alors les phénomènes caractéristiques de l'étiollement. Stahl reconnaît d'ailleurs que des causes autres que l'intensité lumineuse peuvent intervenir pour modifier la surface de la feuille. C'est ainsi que Sorauer (5) et plus tard M. Dufour (6) ont montré qu'à une plus grande

(1) C. Flammarion, *loc. cit.*, 1896, p. 276.

(2) *Loc. cit.*, 1897, p. 443.

(3) L. Dufour, *Influence de la lumière sur la forme et la structure des feuilles* (Ann. des Sc. nat., 7^e série, t. V, 1887).

(4) Stahl, *Ueber den Einfluss des sonnigen oder schattigen Standortes* (Jennaische Zeitschr. f. Naturwiss., XVI, 1883).

(5) Sorauer, *Bot. Zeitung*, 1873, n^o 10; 1878, n^o 1.

(6) Dufour, *loc. cit.*, p. 350.

humidité du sol, toutes choses égales d'ailleurs, correspondent des feuilles plus grandes.

Senebier, dans ses *Mémoires* (1), dit que les feuilles de Laitue exposées aux rayons rouges furent moins larges et moins lisses que celles qui avaient été exposées aussi bien aux rayons violets qu'à la lumière blanche, mais elles étaient plus larges que celles qui furent éclairées par les rayons jaunes.

Sachs (2), faisant germer des graines de *Linum usitatissimum* et de *Sinapis alba*, derrière une solution de bichromate de potassium ou de sulfate de cuivre ammoniacal, a observé qu'après la sortie de la tige au-dessus de la surface du sol, les plantes qui étaient sous les cloches à sulfate de cuivre ammoniacal avaient le limbe des cotylédons deux à trois fois plus petit que celles qui s'étaient développées derrière une solution de bichromate de potassium. Sachs fait observer que les choses se passent absolument de la même façon comme si la lumière jaune était remplacée par de la lumière blanche faible, et la lumière bleue par de la lumière blanche à intensité très atténuée. Il a observé aussi que les feuilles des plantes qui poussent dans la lumière jaune ont leurs bords recourbés vers le bas, de manière que la feuille présente une face convexe dirigée vers le haut. Cette épinastie a été d'ailleurs observée également pour les feuilles des plantes qui sont cultivées à l'obscurité.

Adolph Mayer (3), employant le dispositif déjà exposé à propos de la tige (p. 150), a constaté que derrière le verre jaune le diamètre transversal des feuilles du *Pisum sativum* est le même que pour les plantes qui poussent à la lumière blanche de même intensité, et plus petit que celui des plantes cultivées dans la lumière totale plus intense; tandis que pour le *Vicia*, ce diamètre est plus grand dans la

(1) Senebier, *Mémoires physico-chimiques*.

(2) Sachs, *Bot. Zeitung*, 1864.

(3) Adolph Mayer, *loc. cit.*

lumière jaune que dans la lumière blanche de même intensité ou d'intensité plus grande.

Les résultats obtenus par M. Flammarion ne sont pas concordants. Les feuilles sont tantôt plus grandes dans la lumière rouge que dans la lumière blanche (*Sensitive*, *Geranium*) (1), tantôt à peu près égales (*Coleus*, *Alternanthera*) (2). De même les feuilles éclairées par la lumière bleue sont tantôt égales (*Geranium*) (3), tantôt plus petites que dans la lumière totale. Le nombre des feuilles développées sous l'influence des différentes radiations n'est pas non plus constant; c'est ainsi que pour des pieds d'une Fougère, M. Flammarion a constaté qu'ils avaient 3 feuilles dans le rouge, 7 dans la lumière blanche, 3 dans la lumière verte, 1 dans la lumière bleue, tandis que pour la Vigne il trouve qu'il s'est formé 16 feuilles dans le rouge, 16 dans le bleu, 12 dans la lumière blanche, 8 dans le vert.

D. Fleur. — Les expériences de Senebier (4), Sachs (5), etc., prouvent que les fleurs peuvent se former à l'obscurité, pourvu que la plante ait des réserves suffisantes. Les Tulipes, les Jacinthes, les Crocus, les Raves fleurissent à l'obscurité grâce aux substances accumulées dans leurs bulbes ou leurs tubercules. De même, d'après Sachs, certaines plantes (*Tropæolum*, *Cucurbita Pepo*) peuvent donner des fleurs si une partie suffisante de l'appareil végétatif reste exposée à la lumière.

M. Flahault (6), cultivant des Jacinthes bleues et rouges, n'a pas vu de différences appréciables dans l'éclat des fleurs épanouies à l'obscurité et au soleil; au contraire, d'après

(1) C. Flammarion, *loc. cit.*, 1897, p. 438; 1897, pl. II.

(2) *Ibid.*, 1897, pl. I et II.

(3) *Ibid.*, 1897, pl. II.

(4) Senebier, *loc. cit.*

(5) Sachs, *Bot. Zeitung*, 1863, 1865.

(6) Ch. Flahault, *Développement des matières colorantes des fleurs* (Ann. des Sc. nat., 1878).

Askenasy (1), la forme des fleurs des Jacinthes serait peu modifiée à l'obscurité, mais la coloration serait plus pâle dans ce dernier cas.

Dernièrement, Vöchting (2) a étudié d'une manière plus détaillée l'influence de la lumière sur les fleurs et a montré que l'appareil floral de *Mimulus Tilingi* se réduit au fur et à mesure que l'éclairement diminue, et qu'au-dessous d'un certain minimum la plante reste stérile. Ce minimum est d'ailleurs très variable, suivant que les espèces recherchent l'ombre ou le soleil. C'est ainsi que l'*Impatiens parviflora*, qui est une plante ombrophile, peut fleurir à un éclairement qui permet à peine l'apparition des boutons floraux chez le *Malva vulgaris*, plante héliophile. Parfois même les fleurs n'apparaissent plus et alors toute l'activité de la plante est employée à la production d'organes végétatifs surabondants : feuilles, rameaux, etc. En recherchant l'action de la lumière sur les diverses parties de la fleur, l'auteur a observé qu'assez souvent la radiation agit uniformément sur toutes les parties de l'organe (*Mimulus*), que dans certains cas la corolle seule est modifiée, qu'enfin les organes sexués paraissent relativement moins sensibles à l'action de la lumière que les enveloppes florales. Chez certaines plantes (*Stellaria media*, *Lamium*), la corolle ne s'ouvre pas et la fleur devient cléistogame. Enfin, en ce qui concerne les fleurs zygomorphes, il a observé l'avortement des deux pétales supérieurs chez le *Tropæolum majus* et la réduction de la lèvre supérieure chez le *Mimulus Tilingi*, quand l'intensité de la lumière diminue.

M. Curtel (3) vient de confirmer les résultats de Vöchting, en les complétant par l'étude anatomique des organes floraux, développés à des lumières d'intensités différentes.

L'influence des différentes radiations sur la formation de la fleur a été moins étudiée.

(1) Askenasy, *Bot. Zeitung*, 1876.

(2) Vöchting, *Ueber den Einfluss des Lichtes auf die Gestalt und Anlage der Blüthen* (Jahrb. für wiss. Botanik, Bd XXV, 1893).

(3) Curtel, *Recherches physiologiques sur la Fleur*. Thèse de Paris, 1899.

Senebier (1) dit que sous l'influence des rayons violets les Haricots fleurissent à peu près pendant le même temps que ceux qui avaient été cultivés à la lumière totale; ceux qui étaient exposés aux radiations rouges ont fleuri dix jours plus tard; mais il n'a pas répété l'expérience et il fait cette restriction que peut-être d'autres circonstances ont put influer sur ce retard.

Sachs (2) a cultivé comparativement des plantes, d'une part derrière une couche d'eau pure, de l'autre derrière une solution de sulfate de quinine, qui, comme on le sait, absorbe les radiations ultraviolettes (chimiques). De ses expériences, faites avec le *Tropæolum majus*, il résulte que : 1° derrière une solution de sulfate de quinine, les plantes, cultivées dès la graine, ne peuvent pas produire des fleurs, mais seulement de petits boutons floraux, qui s'arrêtent dans leur développement et qui périssent ensuite; 2° les liges ont à peu près la même longueur que derrière une couche d'eau pure; 3° le nombre des feuilles est un peu plus grand chez les plantes qui ont poussé derrière l'eau; 4° il en est de même pour le poids de la substance fraîche. Il déduit de ses expériences que les radiations ultraviolettes provoquent la formation d'une substance florigène (blüthenbildende Substanz); cette substance se formerait dans les feuilles, d'où elle émigrerait pour aller dans les parties où se formeront les fleurs. Par substance florigène, il n'entend pas la totalité des substances (albuminoïdes, etc.) qui forment la fleur; ce serait une substance qui agirait, comme les ferments, sur de grandes quantités d'autres substances, tandis que sa quantité, très petite, resterait constante.

M. C. de Candolle (3), qui a répété les expériences de Sachs, est arrivé aux mêmes résultats. Il s'est servi, pour l'absorption des radiations ultraviolettes, des solutions de sulfate de

(1) Senebier, *loc. cit.*

(2) Sachs, *Ueber die Wirkung der ultravioletten Strahlen*, etc. (Arb. d. bot., Inst. Würzburg, Bd III, 1888.

(3) C. de Candolle, *Étude sur l'action des rayons ultraviolets*, etc. (Arch. des Sc. phys. et nat., t. XXVIII, 1892).

quinine ou d'esculine; d'après lui, les différences ne portent pas seulement sur la formation des fleurs; les plants de *Tropæolum majus*, qui ont poussé en l'absence des radiations ultraviolettes (sulfate de quinine), étaient moins développés et avaient un poids sec plus petit que les plantes témoins. Les expériences faites avec le *Lobelia Erinus*, derrière une solution d'esculine, ont donné des résultats moins satisfaisants, parce que, d'après l'auteur même, les causes d'erreur ont été moins bien écartées. Cependant, derrière les solutions d'esculine, les plantes étaient moins développées, mais des fleurs normales se formèrent. M. de Candolle ne croit pas que les radiations ultraviolettes contribuent à la formation d'une substance spéciale florigène, comme le pense Sachs, mais ces radiations auraient une action stimulante sur le développement général de la plante.

Enfin, des expériences de M. Flammarion (1) il paraît résulter que le Pois et le Haricot ne peuvent fleurir que dans la serre rouge, et non dans la serre bleue. Mais on peut remarquer que les radiations chimiques étant nulles dans la moitié la moins réfrangible du spectre, il résulte des expériences de cet auteur que les radiations ultraviolettes, loin d'être indispensables, sont plutôt nuisibles à la formation des fleurs.

III. — Structure.

Je ne connais rien de précis relativement à la structure des divers organes des plantes cultivées sous l'influence des radiations de différentes réfrangibilités. M. Flammarion (2) dit : « Si nous examinons au microscope des coupes transversales des tiges de *Sensitive*, la structure et le diamètre sont différents pour les plantes de la serre rouge et de la serre blanche. L'épiderme est plus épais, les vaisseaux du bois plus nombreux dans la tige de la serre blanche; la moelle y est beaucoup moins développée, les cellules mieux formées et à

(1) C. Flammarion, *loc. cit.*, 1897, p. 441.

(2) C. Flammarion, *loc. cit.*, 1897, p. 443.

parois plus épaisses ; pour ces différentes raisons, la tige des plantes de la serre blanche est plus résistante à la flexion. »

IV. — Poids sec.

Il y a déjà longtemps, Hunt (1) avait montré que le poids de la substance (Holzfaser) varie avec la nature des radiations ; il est plus faible dans la lumière bleue que dans les lumières jaune, rouge et blanche.

Adolph Mayer (2), qui a expérimenté de la manière indiquée plus haut, dit que pour le Pois (au bout de dix semaines et demie de végétation) et la Vesce (au bout de neuf semaines) le poids sec de la plante entière (tige, racine, feuilles), a été trouvé plus grand dans la lumière jaune que dans la lumière blanche de même intensité.

D'autre part, Macano (3) cultivant des Fèves, trouve qu'au bout de trois semaines le poids sec diminue dans l'ordre suivant : lumière totale, lumière violette, lumière rouge, lumière jaune. Séparant, des cendres, la substance organique, il trouve que le poids de cette dernière diminue dans le même sens.

En même temps, Sachs (4) a observé que pour l'*Helianthus annuus*, le poids sec est plus grand dans la moitié la moins réfrangible que dans la moitié la plus réfrangible du spectre, ce qui est en désaccord avec les données de Macano. Mais, contrairement à ce que prétend Adolph Mayer, tant Sachs que Macano ont observé que dans la lumière blanche le poids sec augmente toujours plus que dans n'importe quelle lumière colorée.

(1) Hunt, *loc. cit.*

(2) Adolph Mayer, *loc. cit.*

(3) Macano, *Bot. Zeitung*, 1874, p. 344.

(4) Sachs, in Pfeffer, *Die Wirkungen farbigen Lichtes auf die Zersetzung der Kohlensäure in Pflanzen* (Arb. d. bot. Inst. Würzburg, Bd I, 1874, p. 56).

Kraus (1), Morgen (2) et Wollny (3), arrivent aux mêmes résultats que Sachs et Hunt, à savoir que c'est dans la moitié la moins réfrangible du spectre que se forme la plus grande quantité de substance organique. Morgen explique les résultats obtenus par lui en disant que le poids de la substance sèche est proportionnel à la quantité d'acide carbonique décomposé par la plante.

M. Flammarion (4) a aussi porté son attention sur la même question; voici, à titre d'exemple, les poids frais qu'il a obtenus avec les feuilles de *Mimosa pudica* : lumière rouge 0^{gr},250 ; lumière verte 0^{gr},150 ; lumière bleue 0^{gr},095.

Quant à l'influence des radiations ultraviolettes sur le poids de la substance de la plante, nous n'avons guère que les données de Sachs (5), confirmées par celles de M. C. de Candolle (6). Ils ont trouvé tous les deux que le poids sec des plantes qui poussent en l'absence des radiations ultraviolettes est plus faible que celui des plantes cultivées derrière une couche d'eau.

V. — Contenu des cellules.

A. Amidon. — Sur la relation qui existe entre la formation de l'amidon et les différentes radiations lumineuses, je citerai d'abord les observations de Famintzine (7) relatives au *Spirogyra orthospira*. Ce savant a constaté que l'amidon ne se forme que dans la moitié la moins réfrangible du spectre visible (derrière une solution de bichromate de potassium), tandis que dans l'autre moitié, non seulement l'amidon ne se

(1) Kraus, *loc. cit.*

(2) Morgen, *loc. cit.*

(3) Wollny, *Untersuch. ueber d. Einfluss der Lichtfarbe auf das Productionsvermögen u. die Transpiration der Pflanzen* (Fortschr. auf dem Gebiete der Agriculturphysik, Bd XVII, 1894).

(4) Flammarion, *loc. cit.*, 1897, p. 439.

(5) Sachs, *Arbeiten d. bot. Instit. Würzburg*, Bd III, 1888.

(6) C. de Candolle, *loc. cit.*

(7) Famintzine, *Die Wirkung des Lichtes auf Algen*, etc. (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd VI, 1867-1868).

produit pas, mais même celui qui existe dans les cellules se détruit comme à l'obscurité.

Kraus (1) a répété les expériences de Famintzine, non seulement sur le *Spirogyra*, mais encore sur le *Funaria hygrometrica*, et a constaté que dans les chloroleucites de la première plante, l'amidon se forme tout aussi rapidement et en même quantité dans la moitié la moins réfrangible que dans la lumière blanche; dans la moitié la plus réfrangible du spectre, contrairement à ce qu'avait dit Famintzine, il a observé que l'amidon se forme également, quoique moins vite et en moindre quantité. Pour le *Funaria*, les résultats sont les mêmes, avec cette différence que sous l'action des radiations les moins réfrangibles, l'amidon ne se forme pas aussi vite, ni en aussi grande quantité, qu'à la lumière blanche.

A peu près en même temps que Kraus, M. Prillieux (2) a répété les expériences de Famintzine sur l'influence de la lumière bleue, et est arrivé aux mêmes résultats.

Vines (3) a fait des cultures avec des Phanérogames et a constaté que dans les feuilles exposées à la lumière qui a traversé une solution de sulfate de cuivre ammoniacal, l'amidon ne se forme que dans les cellules stomatiques.

B. *Ferments solubles*. — MM. Downes et Blunt (4) ont constaté qu'une macération filtrée de levure de bière devenait incapable d'intervenir le sucre, après une exposition de durée suffisante au soleil. Si les solutions de sucrase sont pures, c'est-à-dire débarrassées de matières organiques étrangères, M. Duclaux (5) a trouvé que « leur fragilité à la lumière est

(1) Kraus, *Einige Beobachtungen ueber d. Einfluss des Lichtes und Wärme auf die Stärkeerzeugung im Chlorophyll* (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd VII, 1869-1870).

(2) Prillieux, *Influence de la lumière bleue sur la production de l'amidon dans la chlorophylle* (C. R. de l'Acad. des Sc., t. LXX, 1870).

(3) Vines, *The Influence of Light upon the Growth of Leaves* (Arch. d. bot. Inst. Würzburg, 1878, p. 120).

(4) Downes and Blunt, *Proceedings of the R. Society*, t. XXVI, 1877; t. XXVIII, 1878.

(5) Duclaux, *Microbiologie*, t. II.

très grande » (sucrase de l'*Aspergillus niger*). Mais Fernbach (1) a montré que la lumière n'a aucune influence sur la sucrase, dans le vide, que par conséquent c'est à une action combinée de la lumière et de l'oxygène qu'est due la destruction de la diastase.

L'influence des radiations lumineuses de diverses réfrangibilités a été peu étudiée; jusqu'à présent, à ma connaissance, il n'y a que les amylases qui aient fait l'objet de recherches de la part de M. Green (2). Cet auteur a trouvé que les solutions aqueuses des amylases (amylase du malt, de la salive, des feuilles de Fève, etc.), ainsi que les amylases des feuilles vivantes, se comportent de deux manières différentes vis-à-vis de la lumière. Quelques régions du spectre accélèrent l'activité diastasique, aussi bien en solution aqueuse que dans les feuilles vivantes; ces régions transforment le zymogène en enzyme. D'autres régions du spectre ont, au contraire, une action nuisible. L'action diastasique est représentée, pour les diverses radiations, par les nombres suivants : infra-rouge + 10,8; rouge + 53,5; orangé + 4,7; vert — 15,7; bleu + 20,8. Se basant sur ces résultats, il soutient la théorie que l'érythrophylle qui se trouve dans les feuilles rouges aide la migration de l'amidon, en absorbant les radiations qui sont nuisibles à la formation des amylases. Engelmann (3) a montré, en effet, que les feuilles qui contiennent de l'érythrophylle absorbent, en général, les radiations complémentaires aux radiations qu'absorbe la chlorophylle. Le rouge, le bleu et le violet, qui sont absorbés au plus haut degré par la chlorophylle, passent très bien à travers une solution d'érythrophylle. Le maximum d'absorption de cette dernière substance correspond au minimum d'absorption de la chlorophylle, c'est-à-dire se trouve dans le vert. D'autre part, Pick (4)

(1) Fernbach, *Ann. de l'Institut Pasteur*, t. III, 1889.

(2) Green, *On the Action of Light on Diastase* (Philosophical Trans. of the R. Society of London, série B, vol. CLXXXVIII, 1897.

(3) Engelmann, *Bot. Zeitung*, 1887.

(4) Pick, *Ueber die Bedeutung des rothen Farbstoffs bei den Phanerogamen und die Beziehungen desselben zur Stärkewanderung* (Bot. Centralbl., XVI, 1883).

a constaté que la migration de l'amidon se fait plus rapidement quand la feuille contient de l'érythrophylle, et il avait émis l'opinion que la migration est due à l'augmentation de l'action de diastases. Stahl (1), se basant sur le fait que les feuilles rouges, ou les taches rouges des feuilles panachées, absorbent plus de chaleur que les feuilles vertes, ou les parties vertes des feuilles panachées, soutient que c'est la chaleur absorbée par l'érythrophylle qui facilite les transformations des substances et leur migration. Les recherches de M. E. Overton (2) viennent compléter jusqu'à un certain point les résultats obtenus par les auteurs précédents. Il a trouvé une relation entre la présence de l'érythrophylle, des sucres et de la température. Plus la température est basse et plus la quantité de sucre est grande dans les feuilles, plus la quantité de substance rouge augmente.

VI. — Thallophytes.

Les expérimentateurs sont unanimes à reconnaître que la germination des spores des Champignons est absolument indépendante de la lumière.

La croissance des Champignons varie, sous l'influence des différentes radiations, dans le même sens que celle des plantes supérieures. Vines (3), qui a fait des expériences avec le *Phycomyces nitens*, a observé que ce sont les radiations les plus réfrangibles du spectre qui retardent le plus la croissance des filaments mycéliens.

Passons à la formation des organes de reproduction. D'après Sorokin (4), le *Mucor Mucedo* ne produit pas de sporanges dans la lumière blanche, mais en produit dans la lumière rouge, jaune et violette.

(1) Stahl, *Ueber bunte Laubblätter* (Ann. d. Jardin bot. de Buitenzorg, XIII, 1896).

(2) E. Overton, *Beobachtungen u. Versuche üb. d. Auftreten v. roth. Zellsaft bei Pflanzen* (Jahrb. f. wiss. Bot., 1899, XXXIII).

(3) Vines, *The Influence of Light upon the Growth of unicellular Organs* (Arb. d. bot. Inst. Würzburg, Bd II, 1878).

(4) Sorokin, *Bot. Jahresbericht*, 1874, p. 214.

Brefeld (1) assure que le *Pilobolus microsporus* ne peut pas former des sporanges dans la lumière jaune ni à l'obscurité, mais seulement sous l'influence de la lumière blanche ou des radiations de la moitié la plus réfrangible du spectre.

Ludwig Klein (2), cultivant des *Botrytis cinerea*, a observé que la moitié la moins réfrangible du spectre accélère la production des conidies de cette plante, tandis que les radiations les plus réfrangibles retardent ou bien empêchent complètement la formation de l'appareil conidien.

D'après Elfving (3), l'influence de la lumière sur la formation des conidies varie avec le milieu nutritif. Il remarque d'abord que le *Briarea* et le *Penicillium* fructifient dans la lumière comme à l'obscurité ; le mycélium se forme en plus grande quantité dans l'obscurité que dans la lumière, et les conidies, dont la production est liée à celle du mycélium, sont en moins grand nombre à la lumière. Or ces résultats, d'après Elfving, ne devraient pas être attribués à l'action directe de la lumière sur les organes reproducteurs, mais à l'action qu'exercent les radiations sur la nutrition générale ; c'est-à-dire que la synthèse des substances organiques serait d'autant plus faible que le milieu nutritif employé se rapprocherait moins de la constitution du protoplasma. Les rayons ultraviolets, comme les rayons visibles, agiraient dans le même sens et pour les mêmes raisons. Parmi les radiations visibles, les moins réfrangibles sont les plus favorables.

Dernièrement Lendner (4) a montré également, pour d'autres Champignons, que la cause qui détermine la formation des sporanges réside plutôt dans un phénomène de nutrition que dans la lumière. En cultivant des Mucorinées sur des substratums solides, il a observé la formation des

(1) Brefeld, *Ueber die Bedeutung des Lichtes für die Entwicklung der Pilze* (Sitz. der Gesellschaft naturf. Freunde zu Berlin, 1877).

(2) Ludwig Klein, *Ueber die Ursachen der Sporenbildung von Botrytis cinerea* (Bot. Zeitung, 1885).

(3) Elfving, *Studien ueber die Einwirkung des Lichtes auf die Pilze*, 1890.

(4) Lendner, *Des influences combinées de la lumière et du substratum*, etc. (Ann. des Sc. nat., 7^e série, t. III, 1896).

sporangies à l'obscurité, à la lumière blanche, et dans les diverses lumières colorées. Sur les milieux liquides, la production de ces organes est variable avec l'espèce et parfois avec la nature du milieu nutritif. C'est ainsi que le *Rhizopus nigricans* produit des sporangies dans tous les liquides nutritifs, mais leur maturation subit un retard dans l'obscurité, le jaune et le rouge. Le *Mucor flavidus*, cultivé dans le liquide Raulin, ne forme pas de sporangies dans l'obscurité, le jaune et le rouge, et, si le liquide est très étendu, il ne s'en forme nulle part. Dans le liquide de van Tieghem, les sporangies se forment en plus grand nombre à l'obscurité, dans le rouge et dans le jaune.

Les radiations ultraviolettes n'ont, d'après cet auteur, aucune action sur la formation des sporangies des Mucorinées.

La formation des zoospores et des éléments sexués chez les Algues ne paraît pas être en relation étroite avec la nature des radiations. Ainsi Klebs (1), qui s'est servi des solutions colorées, a remarqué que les zoospores de *Vaucheria repens* et de *V. clavata* se forment derrière les solutions qui laissent passer la moitié la moins réfrangible, aussi bien que derrière celles qui ne laissent passer que la moitié la plus réfrangible. Cependant, la production de ces éléments asexués est moins entravée par les solutions jaunes et rouges que par les solutions bleues; ces dernières ont la même action que la lumière blanche faible, ou que l'obscurité. Les organes sexués se forment à peu près avec autant de rapidité derrière les solutions bleues et violettes que dans la lumière blanche, si l'Algue est cultivée dans une solution contenant du sucre; derrière les solutions jaunes et rouges, les mêmes organes se forment plus tard ou pas du tout. L'absence des rayons ultraviolets est, en général, indifférente.

(1) Klebs, *Die Bedingungen der Fortpflanzung bei einigen Algen u. Pilzen*, 1896.

EXPOSÉ DES RECHERCHES

MÉTHODE EMPLOYÉE.

Pour se rendre compte de l'influence que les radiations de différentes réfrangibilités exercent sur les plantes, on peut employer deux méthodes : la méthode des *spectres* et la méthode des *écrans absorbants*.

La première méthode donnerait évidemment les résultats les plus précis. Mais la production d'un spectre permettant des expériences sur les plantes en voie de croissance rencontre un grand nombre de difficultés, à peu près insurmontables.

Tout d'abord, dans le spectre produit par un prisme, les diverses régions lumineuses ne présentent pas la même dispersion ; celle-ci est d'autant plus considérable que les radiations sont plus réfrangibles. La dispersion étant inégale, les différentes régions du spectre ne contiennent pas, sur la même étendue, un nombre égal de radiations ; c'est ainsi qu'il y en a plus dans le rouge que dans le bleu. Le spectre produit par un prisme n'est donc pas normal. Le seul moyen d'obtenir un spectre normal est de se servir d'un réseau. Mais un tel spectre est pratiquement beaucoup trop petit ou peu intense ; jusqu'à présent, on n'a pas essayé d'obtenir un spectre de réseau qui remplisse les conditions permettant de faire des cultures de plantes dans ses différentes parties. La même objection d'ailleurs peut être faite au spectre du prisme, quoique ce dernier puisse être obtenu d'une manière plus favorable que le spectre de réseau.

Ensuite, pour que le spectre de prisme soit aussi pur que possible, il faut que la fente par où entre le faisceau de lumière totale, avant de tomber sur le prisme, soit étroite ; mais dans ce dernier cas l'intensité des diverses radiations est tellement diminuée que leur effet sur la plante est très

faible. Si au contraire on élargit la fente, ce qui augmente l'intensité des radiations, et par conséquent les effets produits, le spectre est impur, les diverses radiations empiétant les unes sur les autres, et la méthode perd par suite toute sa rigueur.

Enfin, si à ces inconvénients on ajoute celui que dans une même journée l'expérience est soumise à des intermittences, le spectre disparaissant dès que le soleil est caché par les nuages, on voit que l'emploi d'un spectre est à peu près impossible, pour faire des cultures de longue durée.

C'est pourquoi le plus grand nombre des expérimentateurs qui se sont occupés de l'influence des radiations sur les plantes, ont eu recours aux écrans absorbants. J'ai choisi aussi cette méthode, qui est la plus pratique au point de vue de la facilité d'expérimentation.

Les écrans absorbants peuvent être soit des solutions, soit des verres colorés. Or, l'emploi des solutions colorées présente de nombreux inconvénients, particulièrement les suivants : 1° certaines solutions se décomposent assez vite (couleurs d'aniline, dissolution de chlorophylle, etc.); 2° les parois des cloches de Senebier, telles qu'on les construit, ne sont pas parallèles, de telle sorte que la partie supérieure est beaucoup plus épaisse que la partie inférieure, et il serait très difficile d'en faire faire remplissant les conditions voulues; 3° la hauteur de ces cloches est très peu élevée, ce qui limite beaucoup la variété des plantes que l'on peut y cultiver.

Pour ces différents motifs, j'ai été obligé d'employer des écrans en verres colorés. Ceux-ci sont cependant loin d'être à l'abri de tout reproche; la plupart ne sont pas monochromatiques; en effet, à l'exception du verre rouge, qui ne laisse passer, et encore faut-il qu'il soit bien choisi, que les radiations rouges et infrarouges, tous les autres verres sont traversés, en même temps, par plusieurs sortes de radiations.

Mon intention n'a pas été d'étudier l'action des sept prin-

cipales régions qui composent le spectre visible, mais de choisir trois espèces de radiations faciles à isoler : les unes, bleues, très réfrangibles ; les autres, rouges, peu réfrangibles ; et enfin les vertes, de réfrangibilité moyenne. Voici comment je suis arrivé à ce résultat.

Le choix du verre rouge est très facile, car le verre coloré au protoxyde de cuivre est monochromatique, ou à peu près ; cela dépend de la couleur plus ou moins foncée et de l'épaisseur du verre. Celui que j'ai choisi laissait passer les radiations comprises entre la raie B de Fraunhofer et la longueur d'onde $\lambda = 613$; les plantes étaient donc éclairées par les radiations rouges et une faible partie des radiations orangées.

Pour les verres bleu et vert, j'ai procédé de la manière suivante : j'ai pris un verre vert, le plus foncé que j'ai pu me procurer, ayant la même épaisseur que le verre rouge ; analysé au spectroscope, il laissait passer non seulement le vert, mais encore le jaune et une partie du bleu. Pour isoler les radiations vertes, j'avais à ma disposition deux procédés : ou bien me servir de verres plus foncés, ou employer deux verres superposés (1). Avec l'un ou l'autre des deux moyens employés, j'ai obtenu exclusivement les radiations vertes comprises entre les longueurs d'onde $\lambda = 568$ et $\lambda = 524$.

Pour le verre bleu, j'ai procédé de la même manière que pour le vert. Les radiations obtenues étaient comprises entre les longueurs d'onde $\lambda = 522$ et $\lambda = 426$.

En résumé, on voit, par les chiffres que j'ai donnés et par le schéma (Pl. V), que les trois sortes de verres ne laissent passer aucune radiation commune.

Ajoutons cependant que les limites que j'ai indiquées ne sont pas rigoureusement précises, parce que les régions de passage présentent toujours au spectroscope un peu

(1) Ces méthodes sont analogues à celles qu'on emploie pour les solutions colorées ; en effet, pour qu'une solution ne laisse passer que des radiations déterminées, on peut faire varier soit la concentration, soit l'épaisseur de la couche que la lumière doit traverser.

de flou, comme on peut voir par les figures (Pl. V).

J'ai dit plus haut que pour les radiations de moyenne et de grande réfrangibilité, j'ai superposé quelquefois deux plaques de verre; mais alors l'intensité de la lumière était diminuée, parce qu'une partie est absorbée par la substance même du verre. Dans ce cas, pour obtenir des résultats comparables, j'ai superposé au verre rouge un verre incolore, choisi de manière que l'épaisseur totale du verre rouge et du verre incolore soit égale à l'épaisseur des deux plaques des verres vert ou bleu.

En comparant les spectres d'absorption des verres colorés que j'ai utilisés, avec le spectre d'absorption de la chlorophylle (Pl. V), on constate que l'ensemble des radiations que traversent les trois sortes de verres colorés, ne correspondent pas à toutes les radiations, qui sont absorbées par la chlorophylle.

En effet, le verre rouge laisse passer les radiations qui correspondent aux bandes I et II (1); celles qui traversent le verre vert correspondent seulement à la bande IV; enfin celles tamisées par le verre bleu correspondent aux bandes V et VI. Par conséquent, les radiations correspondantes aux bandes III et VII ne passent par aucun des verres que j'ai employés.

Plusieurs auteurs, qui se sont occupés de l'influence que les lumières colorées exercent sur les plantes, ont prétendu que pour juger de l'effet produit, il faut que l'intensité de ces lumières colorées soit la même, et on a cherché à la mesurer à l'aide d'un photomètre, comme on le fait quand on veut comparer les intensités de la lumière blanche.

Mais Sachs (2) a montré, avec raison, que dans ces cas on confond l'intensité des différentes régions du spectre visible avec leur *éclat* (Helligkeit, Leuchtkraft). En effet, l'éclat c'est l'intensité subjective, c'est-à-dire l'action des diffé-

(1) Le spectre d'absorption de la chlorophylle est dessiné d'après Kraus.

(2) Sachs, *Die Pflanze und das Auge als verschiedene Reagentien für das Licht* (Arbeiten d. bot. Institut in Würzburg, vol. I, 1872, p. 278).

rentes régions du spectre sur la rétine, tandis que l'intensité objective est mesurée par la force vive des ondulations de l'éther. Le seul moyen dont on dispose pour comparer l'intensité objective des diverses ondulations de l'éther, c'est de considérer cette intensité comme proportionnelle à la quantité de chaleur qui se développe par l'absorption de ces différentes sortes d'ondulations. Or si l'on compare l'éclat, effet produit sur la rétine, avec l'intensité réelle, on constate qu'il n'y a pas de proportionnalité entre ces deux éléments. En effet, le maximum de chaleur se trouve dans l'infra-rouge, c'est-à-dire dans la partie obscure du spectre, tandis que le maximum de l'éclat se trouve dans le jaune (1).

Pour ces motifs, je n'ai pas déterminé à l'aide du photomètre l'éclat de la lumière qui traversait les verres colorés dont je me suis servi.

Je vais exposer maintenant les principaux résultats de mes expériences, en ce qui concerne la feuille, la tige et la racine.

CHAPITRE PREMIER

FEUILLE.

A. — Morphologie externe.

1. *Faba vulgaris* (Fève de marais).

Dans cette plante, les deux premières feuilles de la base de la tige avortent ; elles ne sont représentées que par des stipules congrescentes au milieu desquelles on observe une petite arête, qui est le représentant de la vrille des autres Papilionacées. Les autres nœuds portent des feuilles composées paripennées.

Les observations ont été faites après trente jours de végétation. A ce moment, les plantes venues respectivement à la

(1) Helmholtz, *Handbuch der physiolog. Optik.*, 1867, p. 316.

lumière blanche, à l'obscurité et aux lumières colorées (rouge, verte et bleue), définies comme je l'ai dit plus haut, possédaient chacune quatre feuilles. J'ai mesuré les surfaces de ces quatre feuilles, et j'ai obtenu les nombres indiqués dans le tableau suivant :

N ^{OS} D'ORDRE DES FEUILLES	LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE	LUMIÈRE BLEUE	LUMIÈRE BLANCHE	OBSCURITÉ
	millim. car.	millim. car.	millim. car.	millim. car.	millim. car.
1	544	125	762	780	60
2	740	136	860	916	56
3	468	128	592	1.001	50
4	420	122	405	1.096	45

Par ce tableau, on voit que partout, sauf à l'obscurité, les surfaces des feuilles successives vont d'abord en augmentant, quand on part de la base, et qu'on s'élève vers le sommet de la tige ; l'augmentation est plus sensible dans les lumières blanche, bleue et rouge ; elle est insignifiante dans la lumière verte.

Mais tandis que dans la lumière blanche les feuilles continuent à augmenter de dimension jusqu'à la quatrième, dans les lumières colorées, le maximum de surface est atteint par la deuxième feuille, et de là les dimensions vont toujours en diminuant jusqu'à la dernière.

Comparant maintenant entre elles les surfaces des feuilles des plantes qui ont été exposées dans les lumières de différentes réfrangibilités, on observe que c'est sous l'action des rayons bleus que les plus grandes surfaces sont obtenues ; c'est ensuite la lumière rouge qui a le plus d'action ; enfin les feuilles éclairées par les radiations vertes ont une surface beaucoup moindre que les précédentes. Ces feuilles, à cause des faibles variations de surface qu'elles présentent aux divers entre-nœuds, ne sont pas sans avoir une certaine analogie avec celles qui ont été cultivées dans l'obscurité complète.

Les cultures de Fève que j'ai faites pendant l'hiver, quand les jours sont plus courts et l'éclairement solaire moins intense, m'ont donné des résultats analogues; seulement, les différences de dimensions entre les feuilles des plantes qui ont végété derrière les verres colorés étaient plus faibles.

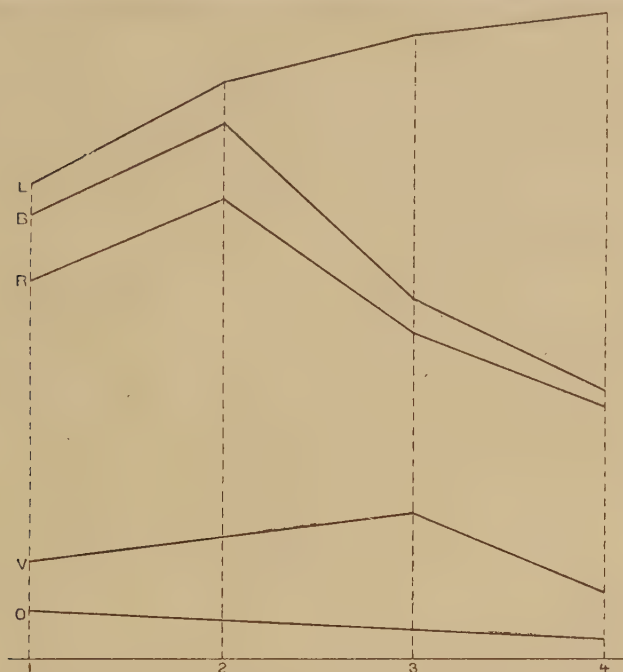


Fig. 1. — *Faba vulgaris*; développement des feuilles; les chiffres placés le long de la ligne des abscisses indiquent les entre-nœuds successifs; la longueur des ordonnées est proportionnelle à la surface des feuilles correspondantes. — O, obscurité; V, lumière verte; R, lumière rouge; B, lumière bleue; L, lumière blanche.

La figure 1 montre d'une manière frappante le degré de développement des feuilles dans les conditions mentionnées. Les diverses courbes de cette figure, de même que celles qui seront données plus loin, ont été construites de la manière suivante : la ligne des abscisses représente la tige; les nombres 1, 2..., placés à des distances égales, correspondent aux nœuds successifs. A chaque point ainsi déterminé, j'ai élevé une ordonnée proportionnelle à la surface de la feuille considérée.

2. *Lupinus albus* (Lupin blanc).

J'ai fait avec cette plante trois cultures ; une commencée en mai, qui a pris fin au bout de trente jours, une autre en juillet, qui a continué pendant vingt-cinq jours, et une troisième en décembre, qui a fini après trente et un jours. Quoique les différences dans l'intensité de la lumière soient assez grandes de l'une à l'autre de ces époques de l'année, les résultats obtenus ont été tout à fait concordants. Dans toutes les expériences, les plantes avaient développé un nombre variable de feuilles, de 2 à 4.

Voici, à titre d'exemple, les nombres fournis par la culture du mois de juillet ; les mesures ont été prises sur la feuille la plus âgée.

Lumière blanche....	{	Foliole médiane.....	216 millim. carrés.	
		— extrême.....	100	—
— rouge.....	{	— médiane.....	54	—
		— extrême.....	45	—
— verte.....	{	— médiane.....	48	—
		— extrême.....	28	—
— bleue.....	{	— médiane.....	70	—
		— extrême.....	54	—
Obscurité.....	{	— médiane.....	10	—
		— extrême.....	6	—

Comme on le voit, les résultats sont les mêmes que pour la Fève. En commençant par les plantes qui ont les feuilles les plus grandes, nous avons la succession suivante : lumière blanche, lumière bleue, lumière rouge, lumière verte et obscurité.

3. *Polygonum Fagopyrum* L. (Sarrasin).

Les observations sur cette espèce ont été faites au bout de treize jours de végétation seulement. Pendant ce temps, les plantes n'ont développé que quelques feuilles très petites, surtout dans la lumière verte. Les cotylédons, au contraire, jouent un rôle très important pendant les premières phases de

la végétation ; ils s'accroissent beaucoup et tiennent la place des feuilles dans l'assimilation chlorophyllienne. Aussi je n'ai mesuré que les cotylédons. J'aurais pu laisser les plantes continuer leur végétation jusqu'à ce que les feuilles eussent acquis une grande surface ; mais, pour rester dans des conditions où les comparaisons sont exactes, il faut interrompre les cultures après l'épuisement complet des réserves de la graine. A partir de ce moment, en effet, les différences de nutrition entre les plantes exposées à des lumières de différentes réfrangibilités sont trop grandes, et peuvent donner des résultats contradictoires, et cela surtout en ce qui concerne la croissance de la tige et de la racine, comme je le montrerai plus loin.

J'ai mesuré dans cette plante, non seulement la surface des cotylédons, mais encore la longueur de leurs pétioles, et j'ai obtenu les nombres ci-joints.

Par ce tableau, on voit que les diverses lumières agissent sur les cotylédons du Sarrasin, comme sur les feuilles des espèces précédentes. Mais ici, un second fait est mis en évidence : la longueur du pétiole varie dans le même sens que la surface du limbe cotylédonaire. Ce résultat est d'autant plus intéressant à noter que dans beaucoup d'espèces les pétioles se comportent comme des tiges. Ici, au contraire, ils réagissent physiologiquement comme des limbes des feuilles.

Lumière blanche.....	{ Surface des cotylédons..	128 millim. car.
	{ Longueur du pétiole....	14 millim.
— rouge.....	{ Surface des cotylédons..	59 millim. car.
	{ Longueur du pétiole....	7 millim.
— verte.....	{ Surface des cotylédons..	23 millim. car.
	{ Longueur du pétiole....	5 millim.
— bleue.	{ Surface des cotylédons..	64 millim. car.
	{ Longueur du pétiole....	9 millim.
Obscurité	{ Surface des cotylédons..	11 millim. car.
	{ Longueur du pétiole.....	2 millim.

4. *Ricinus sanguineus* (Ricin).

Chez cette plante, comme chez la précédente, les cotylédons prennent un grand développement, et, après la consommation des réserves, continuent à s'accroître et acquièrent l'aspect et la fonction des feuilles, et cela même après que de nombreuses feuilles se sont formées.

Après vingt et un jours de culture, les plantes présentent aux diverses lumières, outre les cotylédons, quelques petites feuilles, tandis qu'à l'obscurité, non seulement il ne se forme pas de feuilles, mais encore des cotylédons arrivent à peine à sortir de la graine. La longueur du pétiole cotylédonaire présente, chez le Ricin, les mêmes variations que chez le Sarrasin; en effet, les cotylédons des plantes cultivées à l'obscurité ont le pétiole le plus court; puis viennent ceux des plantes des lumières verte, rouge, bleue et blanche, comme on peut voir par les nombres consignés dans le tableau suivant :

Lumière blanche.....	{	Surface des cotylédons..	4105 millim. car.
	{	Longueur du pétiole....	38 millim.
— rouge.....	{	Surface des cotylédons..	503 millim. car.
	{	Longueur du pétiole....	48 millim.
— verte.....	{	Surface des cotylédons..	200 millim. car.
	{	Longueur du pétiole....	46 millim.
— bleue.....	{	Surface des cotylédons..	600 millim. car.
	{	Longueur du pétiole....	20 millim.
Obscurité.....	{	Surface des cotylédons..	53 millim. car.
	{	Longueur du pétiole....	5 millim.

5. *Pæonia officinalis* (Pivoine)

(Pl. VI, L, B, R, V.)

Une même touffe très grande de Pivoine a été divisée en plusieurs fragments, égaux autant que possible, et chacun d'eux mis en pot. Quand, au printemps, les bourgeons ont commencé à se développer et à sortir de la terre, j'ai choisi parmi les pieds précédents ceux dont les bourgeons pré-

sentaient le même état de développement, et je les ai mis en expérience. Au bout de soixante jours de végétation (avril, mai), la culture a pris fin. A ce moment, les plantes possédaient chacune cinq feuilles bien développées ; la sixième feuille, au-dessus de laquelle la tige se terminait par un bourgeon floral rudimentaire, était encore très petite. Au-dessous de la première feuille bien conformée, s'en trouvaient une ou deux réduites à leur gaine.

Dans le tableau ci-joint, je n'ai pas indiqué la surface des limbes foliaires ; les feuilles étant, en effet, découpées en de nombreux segments, j'ai préféré mesurer le diamètre transversal du lobe médian, ce qui donne une idée aussi exacte que les surfaces générales des feuilles, comme on peut se convaincre en examinant les figures (Pl. VI, L, B, R, V.) Comme pour les deux espèces précédentes, je donne également, dans le tableau suivant, les longueurs des pétioles des feuilles successives.

		LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE	LUMIÈRE BLEUE
		millim.	millim.	millim.
1 ^{re} feuille.	{ Limbe.	44	41	17
	{ Pétiole.	121	140	60
2 ^e feuille.	{ Limbe.	49	41	20
	{ Pétiole.	125	151	72
3 ^e feuille.	{ Limbe.	20	45	23
	{ Pétiole.	123	144	80
4 ^e feuille.	{ Limbe.	49	41	20
	{ Pétiole.	96	126	66
5 ^e feuille.	{ Limbe.	47	40	19
	{ Pétiole.	85	116	52

C'est donc encore la lumière bleue qui produit les limbes les plus grands, et c'est sous l'action de la lumière verte qu'ils sont les plus réduits. Les longueurs des pétioles varient en sens inverse ; par conséquent, ces parties de la

feuille se comportent comme des tiges et non comme des limbes.

Les courbes R, V, B de la figure 2, construites comme je l'ai indiqué précédemment, montrent la marche du dévelop-

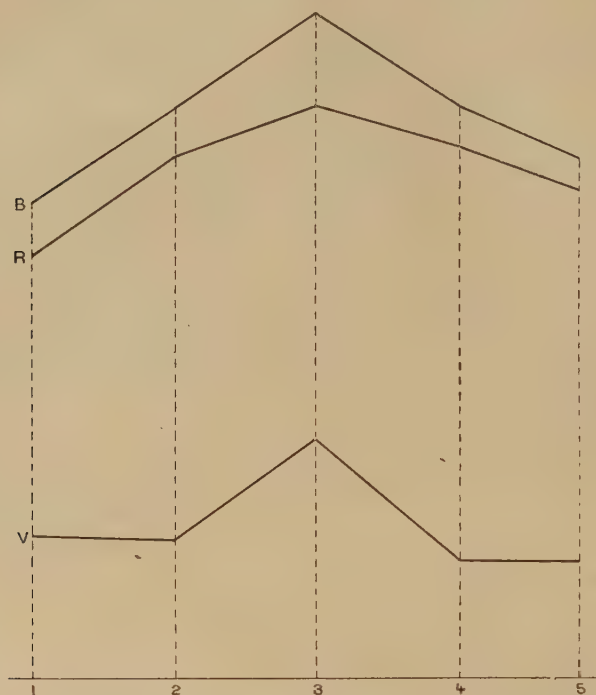


Fig. 2. — *Paeonia officinalis*; développement des feuilles; les chiffres placés le long de la ligne des abscisses indiquent les entre-nœuds successifs; la longueur des ordonnées est proportionnelle à la surface des feuilles correspondantes. — V, lumière verte; R, lumière rouge; B, lumière bleue.

pement des cinq feuilles successives dans les diverses lumières colorées. Comme dans les exemples que j'ai décrits précédemment, les feuilles cultivées derrière l'écran rouge se rapprochent beaucoup plus de celles qui ont poussé dans la lumière bleue que de celles éclairées par la lumière verte. Les courbes de la figure montrent cela nettement.

6. *Oenothera biennis* (Onagre).

Cette plante étant bisannuelle, j'ai pris un certain nombre de rosettes de première année, qui ont été mises dans des pots en automne. L'année suivante, j'ai cultivé cette plante sous l'action de trois lumières colorées, dont je me suis servi dans mes expériences; la culture a pris fin après cinquante-cinq jours, quand les individus exposés dans ces conditions avaient chacun 14 feuilles. Les feuilles de cette plante sont, comme on le sait, allongées-lancéolées, et leur limbe se rétrécit vers la base, pour passer insensiblement en pétiole. Comme pour l'espèce précédente, j'ai mesuré le diamètre transversal maximum des feuilles. D'autre part, la limite entre le limbe et le pétiole n'étant pas assez nette, je ne donne pas les longueurs de celui-ci.

Voici maintenant les résultats des mesures prises, en ce qui concerne le diamètre transversal du limbe.

N° D'ORDRE DES FEUILLES	LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE	LUMIÈRE BLEUE
	millim.	millim.	millim.
1.....	14	8	17
2.....	19	9	21
3.....	18	10	21
4.....	15	11	21
5.....	17	9	21
6.....	15	9	20
7.....	14	8	18
8.....	15	8	17
9.....	12	7	15
10.....	16	7	17
11.....	17	6	17
12.....	13	4	17
13.....	14	3	19
14.....	7	3	13

De l'examen de ce tableau et de la figure 3, qui montre la marche générale du développement de la feuille dans les trois

sortes de lumières, on constate les mêmes variations des

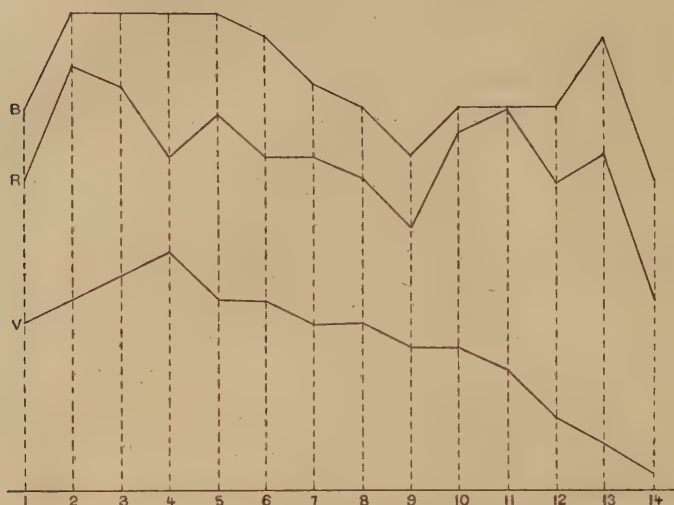


Fig. 3. — *Oenothera biennis*; développement des feuilles; les chiffres placés le long de la ligne des abscisses indiquent les entre-nœuds successifs; la longueur des ordonnées est proportionnelle à la surface des feuilles correspondantes. — V, lumière verte; R, lumière rouge; B, lumière bleue.

dimensions du limbe et du pétiole que dans les espèces de plantes précédemment décrites.

7. *Rubus fruticosus* (Ronce). —

(Pl. VI, L₁, B₁, R₁, V₁, O.)

Le dernier exemple que je vais décrire au point de vue de la feuille, c'est la Ronce. Cette plante est d'autant plus intéressante que ses pétioles ne se comportent pas comme ceux des espèces précédentes.

Obscurité.....	{	Diamètre transversal du limbe....	5 millim.
		Longueur du pétiole.....	30 —
Lumière blanche.	{	Diamètre transversal du limbe....	50 —
		Longueur du pétiole.....	100 —
— rouge....	{	Diamètre transversal du limbe....	40 —
		Longueur du pétiole.....	80 —
— verte....	{	Diamètre transversal du limbe....	18 —
		Longueur du pétiole.....	40 —
— bleue....	{	Diamètre transversal du limbe....	45 —
		Longueur du pétiole.....	90 —

On voit par ce tableau qu'au point de vue de la longueur, les pétioles de la Ronce se classent dans l'ordre croissant suivant : radiation totale, lumière bleue, lumière rouge, lumière verte, obscurité. Les tiges, au contraire, se classent, comme on le verra plus tard, dans l'ordre exactement inverse. Par conséquent, ici, les pétioles se comportent comme les limbes et non comme les tiges.

8. *Sempervivum tectorum* (Joubarbe des toits).

(Pl. V, R, V, B, L.)

On sait qu'en général, chez les plantes qui ont les feuilles groupées en rosette à la base de la tige, ces feuilles se disposent de manière que leur limbe soit horizontal (*Plantago major*, *Draba*, *Teesdalia*, *Capsella*, etc.). Cette position est déterminée par la lumière, dont l'effet, dans les conditions naturelles et pour un objet situé à la surface du sol, peut être considéré comme se faisant sentir verticalement. La preuve que cette disposition des feuilles radicales est due à l'action de la lumière, c'est que si on cultive les plantes à l'obscurité, comme ont fait beaucoup d'expérimentateurs, on constate que ces feuilles de la rosette prennent une direction verticale; elles sont donc, dans ce cas, négativement géotropiques.

Chez le *Sempervivum tectorum*, les feuilles étant très nombreuses et épaisses, ne peuvent se disposer toutes dans un plan horizontal; elles sont plus ou moins dressées. En outre, elles présentent une légère courbure et ont une face concave supérieure, et une autre convexe inférieure; elles sont donc, comme on dit, hyponastes.

Cette plante a été cultivée dans la terre; j'ai choisi dix rosettes, aussi égales que possible, et je les ai plantées dans des pots remplis d'un mélange de terre et de sable. Tous les individus ont été récoltés d'un même endroit, un rocher du jardin du Laboratoire de biologie végétale de Fontainebleau.

Après deux mois de culture, j'ai observé les plantes qui

ont été exposées aux différentes lumières colorées, en les comparant avec celles qui ont été laissées dans la lumière blanche. Je donne d'abord dans le tableau suivant, pour une dizaine de feuilles, en commençant par les plus grandes, qui sont les plus rapprochées de la base : 1° la longueur et la largeur ; 2° le rapport de la première de ces dimensions à la seconde ; 3° la surface — ou plutôt une quantité sensiblement proportionnelle à la surface, — obtenue en multipliant la longueur par la largeur.

NUMÉROS	LUM. BLANCHE		LUMIÈRE ROUGE		LUMIÈRE VERTÉ		LUMIÈRE BLEUE	
	Longueur de la feuille.	Largeur de la feuille.	Longueur de la feuille.	Largeur de la feuille.	Longueur de la feuille.	Largeur de la feuille.	Longueur de la feuille.	Largeur de la feuille.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1	22	10	28	6	32	6	24	8
2	22	8	27	6	30	6	24	8
3	21	9	27	7	27	8	24	8
4	21	9	23	9	27	6	24	7
5	21	9	25	5	24	6	23	9
6	21	9	22	8	24	5	23	9
7	21	9	22	7	24	8	23	9
8	20	9	20	8	22	8	23	8
9	20	9	20	8	22	8	»	»
10	»	»	20	8	»	»	»	»
Moyenne....	21	9	23	7	25	6	23	8
Surface.....	189mmq		161mmq		150mmq		184mmq	
Rapport de la longueur à la largeur.....	2,33		3,28		4,16		2,87	

Nous voyons en premier lieu par ce tableau, qu'en ce qui concerne la surface, l'effet des diverses lumières est le même chez les feuilles en rosette, que chez les feuilles ordinaires. C'est la lumière blanche qui produit la plus grande surface ; viennent ensuite la lumière bleue et la lumière rouge, et c'est enfin dans la lumière verte que les feuilles sont les plus petites.

En second lieu, la forme elle-même des feuilles varie un peu suivant la réfrangibilité de la lumière. Le rapport de

la longueur à la largeur est le plus petit dans la lumière ordinaire, et le plus grand dans la lumière verte; c'est-à-dire que dans les conditions ordinaires d'éclairement, la feuille a une forme élargie, tandis qu'elle tend à devenir plus élancée dans la lumière verte. Les cas intermédiaires pour le rapport de la longueur à la largeur de la feuille sont fournis dans l'ordre décroissant par la lumière rouge et la lumière bleue.

Enfin, comme on peut le voir par les figures (Pl. V, R, V, B, L), la différence de croissance entre la face supérieure et la face inférieure n'est pas la même et donne aux feuilles un aspect particulier. En effet, tandis que chez les feuilles de la lumière blanche la croissance de la face inférieure est plus grande que celle de la face supérieure, chez les feuilles qui ont été éclairées par les lumières colorées, on observe le contraire : c'est la face inférieure qui est concave, la face supérieure qui est convexe. Les feuilles sont donc hyponastes dans le premier cas, épinastes dans le second. En outre, l'épinastie n'est pas également accentuée dans les diverses lumières colorées : elle est le plus marquée dans le vert, le moins dans le bleu, tandis que dans le rouge le phénomène de l'épinastie présente un caractère intermédiaire.

Parmi les plantes ayant à la base de la tige une rosette de feuilles plus ou moins pétiolées, j'ai étudié particulièrement les *Valerianella*, *Lactuca* et *Barkhausia*. Partout on observe, aux diverses lumières, le même sens dans les variations de dimension du limbe et du pétiole, que chez la plupart des autres espèces étudiées. Dans l'exemple précédent (*Sempervivum*), les feuilles de la rosette, verticales et hyponastes à la radiation totale, deviennent horizontales et épinastes aux lumières colorées; ici, au contraire, les feuilles, qui dans les conditions naturelles d'éclairement sont horizontales, prennent une position plus ou moins verticale, suivant la nature des radiations.

En résumé :

1° Sous l'influence des radiations de différentes réfrangibilités, les feuilles des plantes que j'ai étudiées se comportent différemment ;

2° Le limbe présente toujours le maximum de surface chez les plantes exposées à la lumière bleue ; c'est sous l'action des radiations vertes que cette surface est la plus petite, tandis que dans la lumière rouge les limbes ont des surfaces intermédiaires. Ce sont par conséquent les feuilles des plantes qui poussent dans la lumière bleue qui se rapprochent le plus, par la surface de leurs limbes, des feuilles qui se sont développées à la lumière blanche ; l'effet produit par la lumière verte se rapproche le plus de l'effet produit par l'obscurité ;

3° Quant à la longueur du pétiole, on peut distinguer deux groupes de plantes :

a. Chez la plupart des espèces que j'ai étudiées, les pétioles se comportent comme les tiges : les pétioles les plus longs appartiennent aux tiges les plus longues et aux limbes les plus réduits. Ce sont donc les radiations vertes qui produisent la plus grande taille, et les bleues la taille la plus courte ; dans la lumière rouge, l'effet obtenu est intermédiaire. Exemples : *Pæonia*, *Ænothera*, etc.

b. Dans d'autres espèces, on observe précisément le contraire : les pétioles les plus longs appartiennent aux tiges les plus courtes et aux limbes les plus grands. C'est chez les plantes éclairées par la lumière verte qu'on trouve les pétioles les plus courts ; viennent ensuite, dans l'ordre croissant, la lumière rouge et la lumière bleue. Exemple : *Rubus fruticosus*, *Polygonum Fagopyrum*, *Ricinus*, etc.

La manière dont se comportent les pétioles dans ce dernier cas est-elle due à une propriété spéciale de ces organes chez les plantes citées, ou bien cela tient-il à la nutrition ? Chez le Ricin, le Sarrasin, quand les feuilles et les cotylédons commencent à se développer, l'albumen est complètement consommé, et par conséquent dès ce

moment-là la plante doit suffire elle-même à son entretien. Or, comme la plante se développe mieux dans le bleu que dans le rouge, et dans le rouge mieux que dans le vert, on pourrait peut-être expliquer par une inégale élaboration de substances nutritives le fait en apparence contradictoire que les pétioles des plantes citées ne se comportent pas comme des tiges. D'ailleurs, si l'on compare des plantes qui ont poussé à l'obscurité avec celles qui ont été cultivées à la lumière totale, on peut distinguer, quant à leur pétiole, également deux groupes de plantes. Les unes dont le pétiole est plus long à l'obscurité qu'à la lumière (*Pæonia*, *Oenothera*, etc.), les autres dont les pétioles sont plus longs à la lumière que dans l'obscurité (*Ricinus*, *Polygonum Fagopyrum*, etc.).

La comparaison des deux schémas (I et II) de la figure 4.

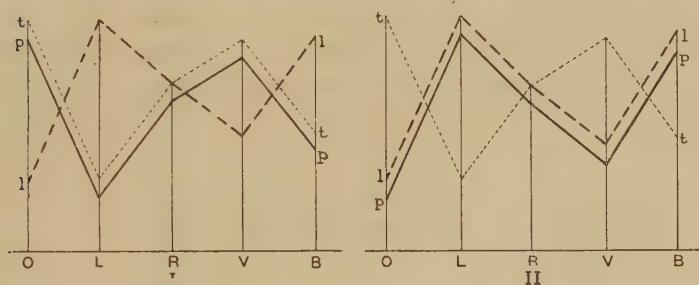


Fig. 4. — Développement de la tige et des diverses parties de la feuille; les ordonnées t indiquent les longueurs des tiges; les ordonnées p , les longueurs des pétioles; les ordonnées l , les surfaces des limbes, dans la lumière totale (L), à l'obscurité (O), aux lumières rouge (R), verte (V) et bleue (B). Les longueurs des tiges varient toujours en sens inverse des surfaces des feuilles; en I, les pétioles varient comme les tiges; en II, ils varient comme les limbes.

montre nettement le sens de la croissance du pétiole par rapport à la tige d'une part, au limbe de l'autre. Les ordonnées élevées aux points : O, L, R, V, B, sont respectivement proportionnelles aux dimensions des pétioles, des limbes et des tiges, à l'obscurité, dans la radiation totale, et dans les lumières rouge, verte, bleue. Les courbes t , p , l représentent la marche de la croissance de la tige, du pétiole et du limbe, en fonction des radiations. Les deux courbes t

(tige) et l (limbe) ont des allures exactement inverses ; quant à ce qui concerne les pétioles, on voit qu'en I la courbe p (pétiole) est parallèle à la courbe t , tandis que en II elle est parallèle à la courbe l (limbe). Ainsi donc, les pétioles se comportent tantôt comme des tiges, tantôt comme des limbes.

4° Quand la plante présente à la base de la tige une rosette de feuilles charnues et dépourvues de pétiole, ces feuilles s'accroissent en longueur comme des tiges, mais l'effet est notablement moindre. Les feuilles les plus longues appartiennent aux plantes éclairées par la lumière verte, les plus courtes aux plantes ayant poussé derrière l'écran bleu, tandis que les feuilles éclairées par la lumière rouge présentent une longueur intermédiaire. En même temps, ces feuilles sont d'autant moins larges qu'elles sont plus longues. Elles se distinguent aussi par ce fait qu'au lieu d'être dressées et hyponastes, comme cela arrive sous la radiation totale, elles sont horizontales et toujours épinastes.

B. — Morphologie interne.

1. *Faba vulgaris* (Fève de marais).

Pour cette plante, et il en sera de même pour les autres que j'étudierai plus loin, je donne d'abord un tableau fournissant l'épaisseur des divers tissus de la feuille, et le nombre des stomates par unité de surface. Je décrirai ensuite, pour chaque espèce de lumière, les caractères morphologiques de ces tissus.

Dans l'estimation du nombre des stomates, j'ai pris pour unité la surface du champ microscopique, le grossissement étant le même ; les épaisseurs des tissus sont données en millièmes de millimètre (μ).

	LUMIÈRE BLANCHE	LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE	LUMIÈRE BLEUE
Épaisseur de la 1 ^{re} assise palissadique.....	113	78	35	78
Épaisseur de la 2 ^e assise palissadique.....	56	51	27	54
Épaisseur totale du tissu palissadique.....	169	129	62	132
Épaisseur du tissu lacu- neux.....	502	199	181	297
Épaisseur de la feuille..	671	337	297	332
Nombre des stomates par unité de surface.	3	5 à 6	8	4 à 5
A la face su- périeure..				
A la face in- férieure...	4	7	12	7

Voici maintenant les caractères morphologiques des divers tissus de la feuille, suivant la nature des radiations.

1^{re} *Lumière blanche* (Pl. VII, L). — Pour nous faire une idée juste de l'influence que les différentes espèces de radiations ont sur la structure de la feuille, je décrirai, tout d'abord, la morphologie interne des feuilles des plantes qui ont été exposées à la lumière blanche, mais, à part cela, dans des conditions identiques que pour les plantes cultivées derrière les écrans colorés.

L'épiderme supérieur est composé de cellules en général isodiamétriques, quand elles sont vues en coupe transversale. Observées de face, ces cellules nous apparaissent allongées, avec un contour très sinueux et mélangées avec des stomates dont le nombre moyen par champ microscopique est de trois. Ces stomates mesurent 48 μ de longueur sur 32 μ de largeur.

Sous l'épiderme supérieur se trouve une première assise palissadique, composée de cellules cylindriques, et dont la longueur représente un quart de l'épaisseur totale de la feuille. La plupart de ces cellules sont cylindro-coniques, ayant leurs extrémités internes moins larges que les extrémités externes. Elles laissent entre elles de grands espaces

intercellulaires, qu'on peut voir sur les coupes transversales et surtout sur les coupes tangentielles.

La deuxième assise palissadique est formée de cellules ayant une forme assez irrégulière. Le caractère constant de ces cellules est d'avoir une base externe très large et s'appuyant, dans la plupart des cas, sur les extrémités internes de deux cellules palissadiques de l'assise externe. Les extrémités internes des cellules de la deuxième assise palissadique sont au contraire très rétrécies. Les méats de cette assise sont plus développés que ceux de l'assise précédente.

Le tissu lacuneux occupe la plus grande partie de l'épaisseur de la feuille; il est composé de cellules tout à fait irrégulières, présentant des prolongements de longueur variable, qui se juxtaposent pour former un réseau à mailles irrégulières. Le système aérifère est de beaucoup plus développé que dans le tissu palissadique, ce qu'on peut voir surtout sur les coupes tangentielles. Dans ce dernier cas, on peut constater que les trois quarts de l'unité de surface sont occupés par les lacunes.

L'épiderme inférieur est formé de cellules plus petites que celles de l'épiderme supérieur; elles sont en général isodiamétriques, à parois latérales tout aussi sinueuses que dans l'épiderme de la face supérieure. Les stomates mesurent $54\ \mu$ de longueur sur $32\ \mu$ de largeur; ils sont donc un peu plus allongés que ceux de la face supérieure de la feuille.

2° *Lumière rouge* (Pl. VII, R). — La première différence qu'on constate en observant les coupes transversales de la feuille, c'est que son épaisseur est, relativement au cas précédent, très réduite. Vues en coupes transversales, les cellules de l'épiderme supérieur se montrent conformées identiquement comme celles des plantes éclairées par la radiation totale. Mais si on observe l'épiderme de face, les cellules apparaissent moins allongées et avec des parois latérales moins ondulées. En même temps les stomates, dont le nom-

bre est plus grand par unité de surface, sont plus petites; ils n'ont que 40 μ . de longueur et 27 μ . de largeur. Remarquons que cette augmentation du nombre des stomates par unité de surface tient simplement à ce que la surface de la feuille est moins étendue et à ce que toutes les cellules épidermiques sont plus petites. Cela ne veut pas dire que le nombre total des stomates de la feuille est augmenté par la lumière rouge.

L'assise palissadique, qui vient immédiatement au-dessous de l'épiderme supérieur, occupe un quart de l'épaisseur totale de la feuille. Les cellules ne sont pas cylindroconiques, comme chez les plantes cultivées dans la lumière blanche, et les espaces intercellulaires sont moins développés que dans ce dernier cas, comme on peut le constater sur les sections transversales et tangentielles de la feuille. La deuxième assise palissadique présente des cellules à peine plus longues que larges, et formant une assise régulière. Les espaces qu'elles laissent entre elles sont très petits.

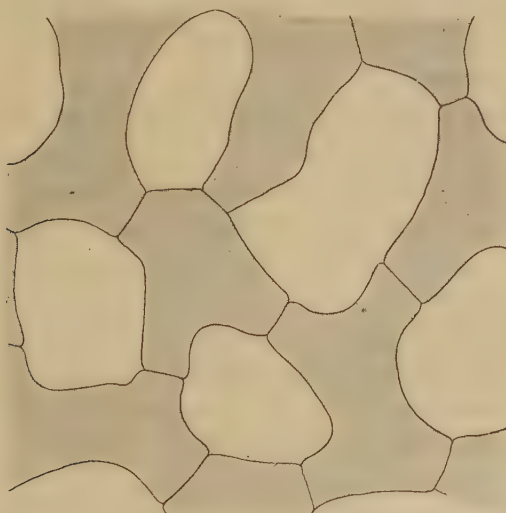


Fig. 5. — *Faba vulgaris*. — Tissu lacuneux vu de face (lumière rouge).

Le tissu lacuneux (fig. 5) (Pl. VII, R), occupe, ici aussi, la plus grande partie de l'épaisseur de la feuille; ses

cellules sont ovales, très peu irrégulières, et ne présentent pas des prolongements, comme chez les plantes exposées à la lumière blanche. Les espaces aérifères que ces cellules limitent sont moins développés que dans le cas précédent ; ce faible développement peut être constaté tant sur les coupes transversales que tangentielles ; ces espaces n'occupent d'ailleurs que deux tiers de l'unité de surface.

L'épiderme inférieur présente les mêmes particularités que l'épiderme supérieur, mais les stomates sont relativement plus longs que larges ($51\ \mu$ de longueur sur $27\ \mu$ de largeur).

3° *Lumière verte* (Pl. VII, V). — L'épaisseur totale de la feuille est encore plus faible que chez les plantes qui ont poussé derrière l'écran rouge. Les rapports entre l'épiderme supérieur et l'épiderme inférieur restent les mêmes que dans les cas précédents, seulement les cellules épidermiques de la face supérieure ont leurs parois latérales beaucoup moins sinueuses. Les stomates, dont le nombre par unité de surface augmente, sont encore plus petits que dans la lumière rouge, leurs dimensions étant $40\ \mu$ de longueur sur $24\ \mu$ de largeur.

Ce qui frappe surtout quand on observe les coupes transversales d'une feuille qui a été éclairée par la lumière verte, c'est que tous ses tissus sont très compacts. En effet, l'assise palissadique, qui se trouve immédiatement sous l'épiderme supérieur, a ses cellules, dont la longueur atteint à peine la moitié de ce que nous avons vu dans la lumière rouge, intimement unies les unes aux autres ; à cause de ce fait, il n'existe presque pas d'espaces aérifères, ce qui est visible surtout dans les coupes tangentielles. D'autre part, cette première assise palissadique n'occupe que le huitième de l'épaisseur totale de la feuille.

Comparons maintenant, au point de vue du contenu, une de ces cellules avec les cellules de la même assise des plantes cultivées en lumière blanche. Dans ce dernier cas, on voit très bien dans l'intérieur de la cellule (Pl. VII, 1)

un très grand nombre de chloroleucites ovales, à contour très net, franchement colorés en vert et disposés régulièrement dans la couche de protoplasma pariétal. Dans les cellules des plantes qui ont été exposées à la lumière verte (Pl. VII, *v*), l'emploi des mêmes réactifs colorants que précédemment ne décèle pas de leucites à contour net, comme ceux décrits plus haut; les contours restent vagues et le protoplasma paraît uniformément teinté. A l'état frais, aucun leucite n'est distinct. Ces observations sont applicables pour toutes les cellules du tissu assimilateur de la feuille.

La deuxième couche palissadique est encore plus régulière que dans la lumière rouge; elle est formée de cellules polygonales ou ovales, un peu allongées perpendiculairement à la surface du limbe.

Le tissu lacuneux (fig. 6) (Pl. VII, V), présente chez

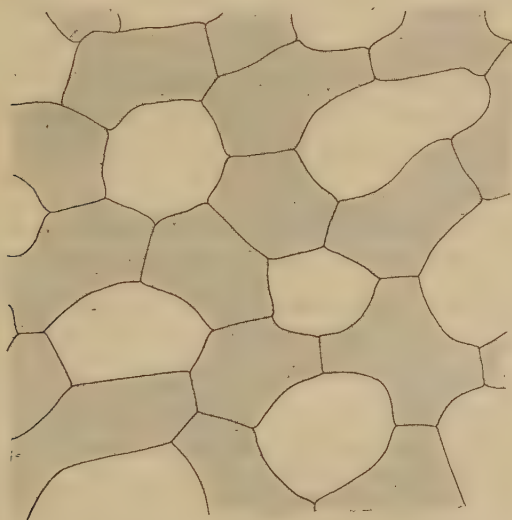


Fig. 6. — *Faba vulgaris*. — Tissu lacuneux vu de face (lumière verte).

les plantes éclairées par la lumière verte un aspect tout à fait caractéristique. Sur les coupes transversales, il est composé de cellules, qui sont pour la plupart allongées parallèlement à la surface de la feuille; entre ces cellules, il ne reste que

de très petits méats. Mais si on observe les coupes tangentielles, on constate que les cellules du tissu lacuneux sont faiblement ramifiées, et les espaces intercellulaires occupent à peu près la moitié de l'unité de surface.

L'épiderme inférieur présente entre ses cellules un plus grand nombre de stomates que chez les plantes qui ont poussé derrière l'écran rouge ; leurs dimensions sont : 40 μ de longueur, sur 24 de largeur.

4° *Lumière bleue* (Pl. VII, B). — Si nous examinons maintenant les plantes qui ont été éclairées par les radiations de la moitié la plus réfrangible du spectre, on constate qu'au point de vue de la structure de leurs feuilles elles présentent des caractères intermédiaires entre ceux que nous avons vus pour les plantes cultivées en lumière blanche et en lumière rouge.

L'épiderme supérieur, par la forme, les dimensions et le contour sinueux des parois latérales de ses cellules, se rapproche plus de celui des plantes éclairées par les radiations rouges. Les stomates, dont le nombre est de 4 à 5 par unité de surface, mesurent 40 μ en longueur et 27 μ en largeur.

L'assise palissadique sous-épidermique a la même épaisseur que dans le rouge, mais le système aérifère y est plus développé. Le contenu des cellules palissadiques se rapproche plus de celui des plantes qui ont été exposées à la lumière blanche, que de celui des plantes qui ont été exposées à la lumière rouge. En effet, chez les plantes de la dernière catégorie, les chloroleucites sont (Pl. VIII, *r*) en petit nombre, à contour et de grandeur irréguliers et disposés sans ordre. Chez les plantes de la lumière bleue, ces corpuscules sont plus nombreux, leur contour est ovale, régulier (Pl. VII, *b*) ; ils sont disposés régulièrement dans la couche du protoplasma pariétal et ils recouvrent à peu près toute la surface interne de la membrane cellulaire.

La deuxième assise palissadique a également la même épaisseur que dans la lumière rouge, mais ses cellules pré-

sentent la forme tronconique décrite chez les plantes éclairées par la lumière blanche. Leur extrémité externe, plus large, s'appuie souvent, en même temps, sur deux cellules de l'assise palissadique externe.

Le reste du mésophylle est formé par un tissu lacuneux nettement caractérisé, formé par des cellules irrégulièrement ramifiées et laissant entre elles de larges espaces aéri-

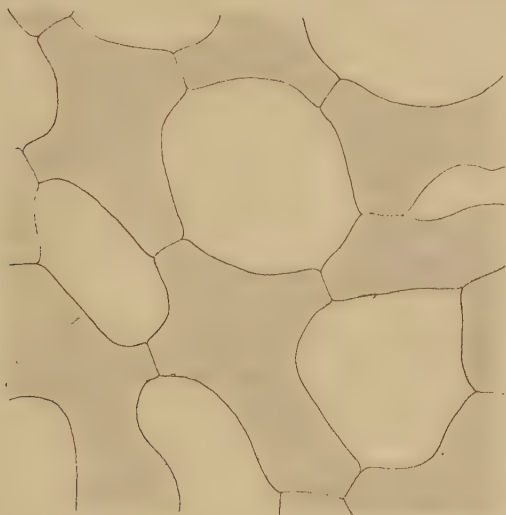


Fig. 7. — *Faba vulgaris*. — Tissu lacuneux vu de face (lumière bleue).

fères. Ces espaces occupent plus de deux tiers de l'unité de surface (fig. 7) (Pl. VII, B).

Les cellules de l'épiderme inférieur ont leurs parois latérales plus ondulées que dans la lumière verte, tout aussi ondulées que dans la lumière rouge, mais moins que dans la lumière blanche. Les stomates, dont le nombre est de 7 par unité de surface, mesurent $48\ \mu$ de longueur et 29 en largeur.

2. — *Arachis hypogæa*.

Le tableau suivant présente les dimensions des différentes assises cellulaires de la feuille, ainsi que le nombre des stomates par unité de surface du limbe.

	LUMIÈRE BLANCHE	LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE	LUMIÈRE BLEUE
Épaisseur de la 1 ^{re} assise palissadique.....	36	29	24	30
Épaisseur de la 2 ^e assise palissadique.....	31	27	21	28
Épaisseur totale du tissu palissadique.....	67	56	45	58
Épaisseur du tissu lacuneux.....	56	48	39	51
Épaisseur de la couche incolore.....	60	67	54	45
Épaisseur totale de la feuille.....	243	216	207	216
Nombre des stomates. { Face supérieure...	12	18	20	13
{ Face inférieure...	12	18	20	13

1° *Lumière blanche*. — Dans les cellules de l'épiderme supérieur, observées de face, on distingue un nombre variable de leucites, *uniformément* disposés dans la masse protoplasmique.

En coupe transversale, le tissu palissadique se montre formé de deux assises d'épaisseur à peu près égale, l'externe étant cependant composée de cellules un peu plus longues que l'interne, comme on peut en juger par le tableau précédent ; la première assise a $1/6$, la deuxième $1/7$ de l'épaisseur totale de la feuille. Les cellules d'une même assise ne se touchent que très peu par leurs parois longitudinales : les espaces aérifères, qui facilitent les échanges gazeux, sont donc très développés.

Le tissu lacuneux, qui représente à peu près le quart de l'épaisseur de la feuille, est formé de cellules irrégulièrement arrondies, et les méats sont naturellement bien plus développés que dans le tissu palissadique.

Dans toutes les cellules du tissu assimilateur, on observe un contenu protoplasmique abondant et très granuleux, dans l'intérieur duquel se trouvent de nombreux chloro-

leucites, ovales, ayant un contour très net, et dispersés le long des parois.

Le reste de l'épaisseur du mésophylle, un quart à peu près, est formé par des cellules très grandes, incolores, un peu allongées parallèlement à la surface du limbe et laissant entre elles de très grandes lacunes.

2° *Lumière rouge*. — L'épiderme supérieur ne présente pas, par rapport au précédent, de différences importantes en ce qui concerne la forme des cellules ; mais il n'en est pas de même pour leur contenu. En effet, les leucites sont *groupés*

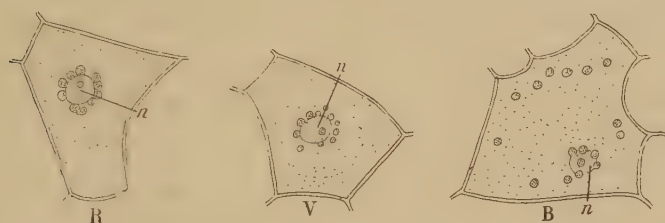


Fig. 8. — *Arachis hypogæa*. — Cellules épidermiques vues de face pour montrer la répartition des leucites : R, à la lumière rouge ; V, à la lumière verte ; B, à la lumière bleue ; n, noyau.

dans le protoplasma qui entoure le noyau (fig. 8, R), formant autour de celui-ci une sorte d'auréole. Le nombre des stomates par unité de surface est beaucoup plus grand que chez les plantes cultivées dans la lumière blanche (18 au lieu de 12).

La première assise palissadique n'a que $1/7$ et la deuxième que $1/8$ de l'épaisseur totale de la feuille ; leurs cellules se touchent par la plus grande partie de leurs faces longitudinales (fig. 9), de telle sorte que les espaces aérifères sont moins développés qu'à la lumière blanche.

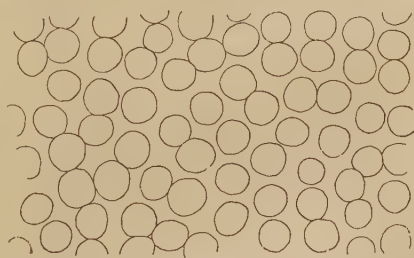


Fig. 9. — *Arachis hypogæa*. — Tissu palissadique vu de face (lumière rouge).

Le tissu lacuneux reste sans changement apparent, occupant toujours à peu près le quart de l'épaisseur de la feuille, mais la couche incolore est modifiée ; relativement aux autres tissus, aussi bien qu'en valeur absolue, l'épaisseur de cette couche est plus grande que dans les plantes qui ont été exposées à la lumière blanche.

Les cellules du tissu assimilateur ont un contenu protoplasmique pauvre en granulations ; les chloroleucites y sont vert pâle et disposés sans ordre dans l'intérieur de la cellule.

3° *Lumière verte*. — Dans les deux séries précédentes (lumière blanche, lumière rouge), les stomates présentent très tôt leur état définitif ; les deux cellules annexes y sont égales et la cellule mère primordiale du stomate est devenue indistincte. Au contraire, ce qui frappe surtout quand on examine l'épiderme des feuilles éclairées par la lumière verte, c'est l'état peu avancé du stomate : les cellules annexes y sont encore inégales, et le contour général de la cellule mère primordiale est nettement distinct.

Le nombre des stomates par unité de surface est plus grand encore qu'à la lumière rouge. Les leucites des cellules épidermiques affectent la même disposition en groupe autour du noyau (fig. 8, V), mais ces éléments sont plus petits que dans la lumière rouge et surtout dans la lumière blanche.

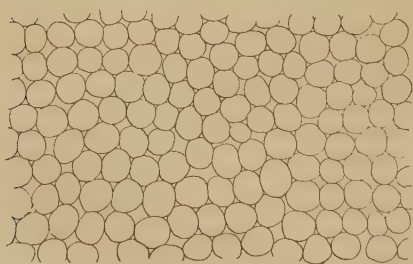


Fig. 10. — *Arachis hypogaea*. — Tissu palissadique vu de face (lumière verte).

Le tissu palissadique est encore moins développé que dans le cas précédent : c'est ainsi que la première assise n'a que $\frac{1}{8}$, et la deuxième $\frac{1}{9}$ de l'épaisseur de la feuille ; ce tissu est compact et ne

laisse presque pas d'espaces aérifères entre ses cellules (fig. 10).

Quant au tissu lacuneux, il perd son principal carac-

tère et cesse presque d'être lacuneux, tant les espaces intercellulaires sont peu développés; il n'a que $1/5$ de l'épaisseur de la feuille. Dans le tissu assimilateur, l'emploi des mêmes réactifs colorants que précédemment ne décèle pas de leucites à contour net, comme ceux décrits plus haut; les contours restent vagues et le protoplasma paraît uniformément teinté. A l'état frais, aucun leucite n'est distinct.

Enfin l'assise de cellules incolores acquiert ici une épaisseur relative encore plus grande que dans la lumière rouge (un tiers de celle de la feuille).

4° *Lumière bleue*. — L'épiderme supérieur présente des caractères intermédiaires entre ceux que nous avons vus dans la lumière rouge et la lumière blanche, et le nombre des stomates est à peu près le même que dans ce dernier cas. Quoique la plupart des leucites soient rassemblés dans le protoplasma périnucléaire, on en observe cependant un assez grand nombre dispersés dans le reste de la cellule (fig. 8, B).

Le tissu palissadique est, relativement à l'épaisseur de la feuille, un peu plus développé que dans la lumière rouge, la première assise ayant $1/7$, le deuxième $1/8$ de cette épaisseur. Il en est de même pour les espaces aérifères.

Le tissu lacuneux représente un quart de l'épaisseur de la feuille.

Le contenu des cellules assimilatrices est abondant, granuleux; les chloroleucites ont un contour net, et ils sont dispersés, pour la plupart, régulièrement le long des parois. L'épaisseur relative de l'assise incolore est plus réduite que dans la lumière rouge.

Par ce qui précède, on voit que le développement des tissus de la feuille d'*Arachis*, sous l'influence des radiations de différentes réfrangibilités, varie dans le même sens que pour la Fève. Après la lumière blanche, c'est encore dans les lumières rouge et bleue que le tissu assimilateur (surtout palissadique) et les espaces aérifères acquièrent le plus grand développement, tandis que sous l'action des radiations vertes ce développement est beaucoup plus faible. Le nombre des

stomates par unité de surface est au contraire plus grand chez les plantes éclairées par la lumière verte, plus faible chez les plantes exposées à la lumière rouge et surtout à la lumière bleue.

En outre, on trouve dans la feuille de cette plante un autre tissu qui subit des modifications différentes dans les diverses lumières colorées; c'est le tissu incolore, constitué de très grandes cellules qui se trouvent sous l'épiderme inférieur: son épaisseur atteint le plus grand développement relatif dans la lumière verte.

A remarquer aussi la disposition des leucites dans les cellules épidermiques; dans les lumières rouge et verte, ces corpuscules sont tous groupés dans le protoplasma qui entoure le noyau, formant autour de celui-ci une sorte d'auréole, tandis que dans la lumière bleue on en observe, en outre, un assez grand nombre dispersés dans le reste de la cellule. Il y a peut-être une relation entre la dispersion des leucites et la présence de l'amidon dans les cellules; en effet, M. Arthur Meyer (1) a observé que dans le parenchyme de réserve des Angiospermes les « anaplastes » se trouvent uniformément répartis dans le protoplasma, quand les cellules contiennent des granules d'amidon; mais après la dissolution de ceux-ci, les « anaplastes » se groupent (pour la plupart du moins) autour du noyau. Ce botaniste a observé le fait surtout dans l'*Iris*, l'*Adoxa Moschatellina* et l'*Orchis fusca*.

3. *Ricinus sanguineus* (Ricin sanguin).

Au bout de vingt-deux jours de végétation, cette plante n'avait pas encore de feuilles, ou du moins celles-ci étaient très petites; j'ai étudié les cotylédons qui étaient très bien développés et présentaient un mésophylle bien caractérisé. Le tableau comparatif des dimensions des différentes régions et le nombre des stomates est le suivant:

(1) Arthur Meyer, *Das Chlorophyllkorn*. Leipzig, 1883, p. 55.

	LUMIÈRE BLANCHE	LUMIÈRE ROUGE	LUMIÈRE VERTE	LUMIÈRE BLEUE
Épaisseur du tissu palissadique.....	94	59	54	62
Épaisseur du tissu lacuneux.....	202	143	108	150
Épaisseur totale de la feuille.....	346	256	218	297
Nombre des stomates				
par unité de surface. { Face supérieure...	2	6	10	6
{ Face inférieure...	2	6	10	6

1° *Lumière blanche*. — Vu de face, l'épiderme supérieur des cotylédons se présente composé de cellules à parois latérales ondulées ; entre les cellules ordinaires, on en observe d'autres un peu plus grandes, ayant un aspect glanduleux, à contenu plus abondant et plus granuleux ; autour d'elles, les autres cellules épidermiques sont disposées radialement, ce qu'on peut bien voir en regardant l'épiderme de face. Dans ce dernier cas, les cellules glanduleuses peuvent être distinguées non seulement grâce à leur contenu, mais encore par le fait que la surface de leurs parois externes est bien plus petite que celle des autres cellules épidermiques. Sur les coupes transversales, ces cellules particulières sont moins faciles à distinguer.

Le tissu palissadique n'est représenté que par une seule assise de cellules, mais elle est relativement très épaisse, occupant un quart de l'épaisseur du cotylédon. Les cellules palissadiques sont cylindriques ; elles laissent, entre elles, des espaces aérifères assez développés, et sont pleines de chloro-leucites discoïdaux à contours très nets.

Le tissu lacuneux est également très bien caractérisé ; ses cellules sont irrégulièrement étoilées, et les méats sont très bien développés. Si on observe les coupes transversales ou tangentielles, on constate que les espaces aérifères occupent $2/3$ de la surface. Le tissu lacuneux représente

à peu près la moitié de l'épaisseur totale du cotylédon.

L'épiderme inférieur possède le même nombre de stomates par unité de surface, les mêmes cellules glanduliformes, que l'épiderme supérieur, mais les parois latérales de ses cellules sont plus sinueuses.

2° *Lumière rouge*. — Les cellules de l'épiderme supérieur ont leurs parois relativement très peu onduleuses; les cellules glanduleuses, que j'ai décrites plus haut, sont, chez les plantes éclairées par les radiations rouges, beaucoup plus grandes relativement aux autres cellules épidermiques, ce qu'on peut voir en regardant les cotylédons aussi bien de face qu'en coupe transversale. Dans ce dernier cas, on peut se convaincre que les cellules glanduliformes se prolongent beaucoup au-dessous du niveau de l'épiderme, et que leurs extrémités internes, c'est-à-dire tournées vers le centre du mésophylle, font saillie dans le tissu palissadique; à cause de cela, les cellules de ce tissu sont moins longues à l'endroit des cellules glanduleuses. Sur l'unité de surface, on peut compter trois fois plus de stomates que chez les plantes qui ont été cultivées à la lumière blanche.

L'assise palissadique représente, comme dans le cas précédent, un quart de l'épaisseur du cotylédon, mais ses cellules sont seulement moitié moins longues. Ces cellules sont intimement unies les unes aux autres, formant un tissu compact dans lequel les espaces aérifères sont très peu développés.

Le tissu lacuneux, qui occupe à peu près la moitié de l'épaisseur du cotylédon, commence par une assise compacte, composée de cellules isodiamétriques, au-dessous de laquelle viennent plusieurs autres assises de cellules irrégulièrement arrondies, un peu allongées parallèlement à la surface de la feuille. Ces cellules ne présentent pas des portions étroites et allongées aussi marquées que dans la lumière blanche, surtout en coupe transversale. Les espaces intercellulaires, facilitant les échanges gazeux, sont donc beaucoup moins grands, comparativement à ce que nous avons vu dans les cotylédons des plantes exposées à la lumière blanche.

L'épiderme inférieur a les mêmes caractères que l'épiderme supérieur.

3° *Lumière verte*. — Les cellules glanduleuses de l'épiderme supérieur sont ici encore plus grandes relativement aux cellules environnantes. Elles ont la forme de grandes vésicules, et la surface de leur paroi externe est même plus grande que celle des autres cellules épidermiques. Au-dessous de chaque cellule glanduleuse, on voit 8 à 9 cellules palissadiques, au lieu de 6 à 7 comme dans la lumière rouge, et de 4 comme dans la lumière blanche. Le nombre des stomates, par unité de surface, est cinq fois plus grand qu'en lumière blanche, et deux fois plus qu'en lumière rouge.

Par rapport à l'épaisseur du cotylédon, le tissu palissadique représente, comme dans les deux cas précédemment décrits, un quart de cette épaisseur, mais son développement est moins avancé. Les cellules sont, en valeur absolue, moins longues encore que dans la lumière rouge.

Le tissu lacuneux occupe la moitié de l'épaisseur du cotylédon; il est constitué de cellules isodiamétriques, ou bien un peu plus allongées perpendiculairement à la surface de la feuille; ces cellules sont accolées par leurs parois, de manière qu'il ne reste que de très petits espaces aérifères aux angles.

Dans tout le tissu assimilateur, les chloroleucites ne sont pas visibles, ni sur des coupes fraîches, ni dans celles qui ont été traitées par des réactifs colorants.

4° *Lumière bleue*. — Les épidermes possèdent les mêmes particularités que dans la lumière rouge, mais le reste de la feuille présente des caractères intermédiaires entre ceux que l'on a trouvé pour la lumière rouge et la lumière blanche.

C'est ainsi que le tissu palissadique, quoiqu'il occupe toujours le quart de l'épaisseur de la feuille, a ses cellules plus longues et les espaces aérifères plus grands que chez les plantes éclairées par les radiations rouges.

Tandis que dans les deux cas précédents, et surtout dans la lumière verte, les cellules du tissu lacuneux étaient à peu

près régulièrement isodiamétriques, ou un peu ovales, ici, dans les plantes éclairées par les radiations bleues, les cellules du tissu lacuneux sont tout à fait irrégulières ; elles ont des prolongements plus ou moins longs, qui limitent des lacunes assez développées.

Ce qui est caractéristique pour les cotylédons du Ricin, c'est la manière dont se comportent les chloroleucites sous l'action des différentes radiations. Tandis qu'à la lumière blanche, comme je l'ai indiqué plus haut, ces corpuscules sont très nets, il est impossible de les voir, en employant les mêmes réactifs, chez les plantes éclairées par les lumières rouge, verte et même bleue. Les différences pour les diverses lumières se manifestent cependant au point de vue du contenu protoplasmique, qui est très pauvre sous les radiations vertes, plus riche à la lumière rouge, et surtout à la lumière bleue.

En résumé, les divers tissus du cotylédon du Ricin se comportent de la même manière, sous l'influence de diverses lumières colorées, que ceux des feuilles des plantes précédemment décrites.

4. *Lupinus albus* (Lupin blanc).

Les principaux résultats, quant aux dimensions des différentes assises de cellules et au nombre des stomates par unité de surface, sont consignés dans le tableau ci-joint.

Les caractères morphologiques des divers tissus sont les suivants :

1° *Lumière blanche* (fig. 11). — Les feuilles de cette plante ont une partie des cellules de leur épiderme inférieur prolongées sous forme de poils unicellulaires. Les autres cellules sont en général isodiamétriques, quelques-unes un peu aplaties. Toutes les cellules de l'épiderme supérieur sont, au contraire, plus larges que hautes. Mais, tandis que la paroi externe des cellules de ce dernier épiderme est plane ou très

peu bombée, celle des cellules de l'épiderme opposé est en général papilleuse.

Le tissu assimilateur palissadique est composé de trois assises d'inégale épaisseur. L'assise externe occupe $1/6$ de

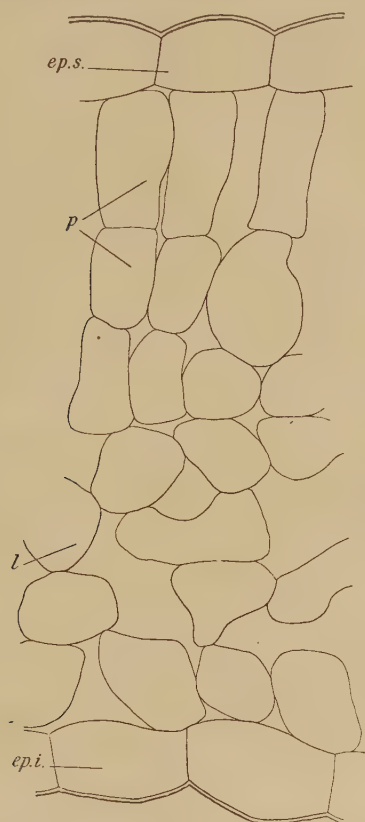


Fig. 11. — *Lupinus albus*. — Feuille à la lumière blanche; *ep.s.*, épiderme supérieur; *p.*, parenchyme en palissade; *l.*, tissu lacuneux; *ep.i.*, épiderme inférieur.

l'épaisseur totale de la feuille; ses cellules ne sont pas toutes de même longueur. La deuxième assise palissadique occupe $1/8$, et la troisième $1/9$ de l'épaisseur de la feuille. Cette dernière assise, qui est formée de cellules très peu allongées perpendiculairement à la surface de la feuille, fait le passage du tissu palissadique au tissu lacuneux sous-jacent.

ovales, disposées en assises régulières, et laissent peu de méats entre elles.

En ce qui concerne les chloroleucites, ils sont moins nombreux que dans la lumière blanche, tant pour le tissu palissadique que pour le tissu lacuneux. Ces corpuscules sont à peu près de même grandeur et leurs contours sont tout aussi nets que chez les plantes éclairées par la radiation totale. Mais ils sont moins verts dans les cellules vivantes, et dans les cellules traitées par des réactifs ils prennent une coloration moins intense.

Les cellules épidermiques, aussi bien de la face supérieure que de la face inférieure, sont très papilleuses, comme on peut le voir par la figure; la portion papilleuse occupe le tiers jusqu'à la moitié de la hauteur de la cellule.

3° *Lumière verte* (fig. 13). —

Vus en coupe transversale, les épidermes inférieur et supérieur ne présentent pas de différences notables par rapport à celles que nous avons signalées chez les plantes qui ont poussé derrière l'écran rouge. Mais il n'en est pas de même si l'on observe ces épidermes de face : les cellules sont beaucoup plus petites dans la lumière verte; leur nombre, ainsi que le nombre des stomates par unité de surface, est bien supérieur à celui du cas précédent.

L'assise palissadique externe occupe $1/8$ de l'épaisseur totale de la feuille. Ses cellules sont intimement réunies par leurs parois longitudinales, ce qui fait que les espaces aérifères, nécessaires à la circulation des gaz, sont

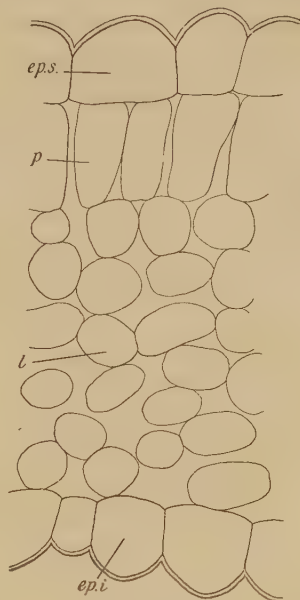


Fig. 12. — *Lupinus albus*. — Feuille à la lumière rouge; *eps.*, épiderme supérieur; *p*, parenchyme en palissade; *l*, tissu lacuneux; *epi.*, épiderme inférieur.

très réduits. Ces cellules présentent, sur une coupe parallèle au limbe, une base carrée, un peu arrondie aux angles; elles sont par conséquent prismatiques et non cylindriques, comme dans les deux cas précédents. Les chloroleucites sont encore moins nombreux que chez les plantes exposées à l'influence de la lumière rouge.

La deuxième et la troisième assise palissadique occupent chacune $1/10$ de l'épaisseur de la feuille. Le tissu lacuneux est encore plus compact, ses cellules plus régulières et disposées en assises plus nettes que dans la lumière rouge.

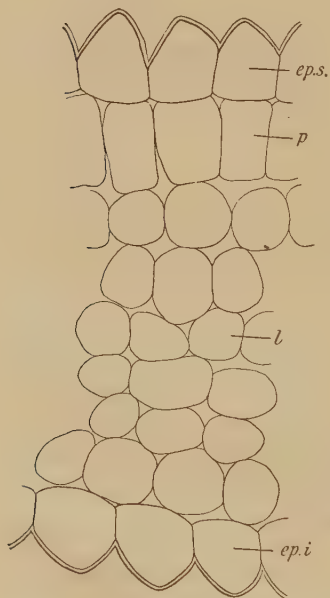


Fig. 13. — *Lupinus albus*. — Feuille à la lumière verte; *ep.s.*, épiderme supérieur; *p*, parenchyme en palissade; *l*, tissu lacuneux; *ep.i.*, épiderme inférieur.

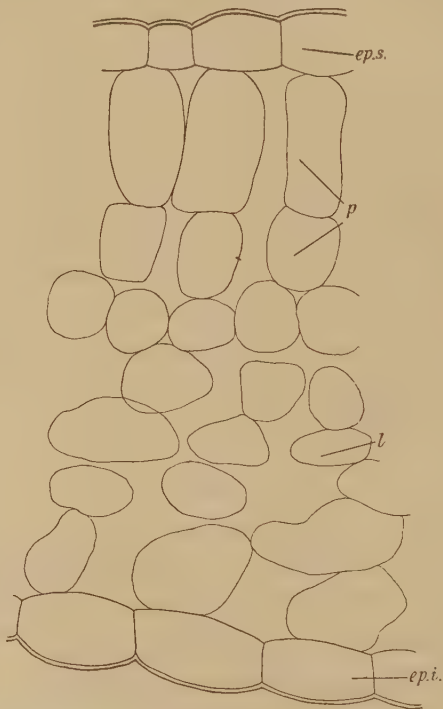


Fig. 14. — *Lupinus albus*. — Feuille à la lumière bleue; *ep.s.*, épiderme supérieur; *p*, parenchyme en palissade; *l*, tissu lacuneux; *ep.i.*, épiderme inférieur.

4° *Lumière bleue* (fig. 14). — Les feuilles de la lumière bleue sont celles qui se rapprochent le plus, tant par leur

structure que par leur épaisseur, de celles des plantes cultivées en lumière blanche. Les cellules épidermiques de l'une et l'autre face n'ont pas leurs parois externes si papilleuses que dans la lumière rouge et verte. Le tissu palissadique laisse entre ses cellules de larges espaces aérifères; il est un peu plus développé que chez les plantes éclairées par la lumière rouge, quant aux dimensions absolues et relatives de ses diverses assises. Par leur disposition régulière le long des parois longitudinales et par leur nombre, ainsi que par leur grosseur, les chloroleucites se rapprochent plus de ceux des plantes cultivées en lumière blanche.

Les stomates, aussi bien de la face supérieure que de la face inférieure, sont plus grands et leur nombre, par unité de surface, est plus petit que dans les deux cas précédemment décrits.

5° *Obscurité* (fig. 15). — Les plantes qui ont poussé à l'obscurité présentent les caractères connus. A remarquer que les cellules de l'épiderme ont leurs parois externes à peu près planes, comme à la lumière blanche, et non papilleuses, comme chez les plantes éclairées par les différentes lumières colorées. Nous verrons plus loin quelle importance il faut attacher à ce caractère.

Le mésophylle est un tissu absolument compact, les diverses assises ont toutes à peu près la même épaisseur, et les cellules sont isodiamétriques, à l'exception de celles de l'assise palissadique sous-épidermique, qui sont plus longues que larges.

Les stomates sont trois fois plus nombreux, par unité de surface, et ils sont beaucoup plus petits que dans la lumière blanche.

Remarque. — A cause du développement très différent

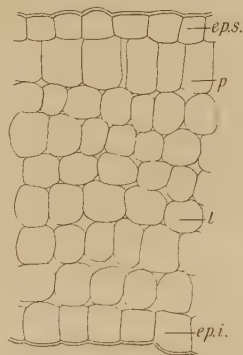


Fig. 15. — *Lupinus albus*. — Feuille à l'obscurité; *eps.*, épiderme supérieur; *p.*, parenchyme en palissade; *l.*, tissu lacuneux; *ep.i.*, épiderme inférieur.

des lacunes dans les diverses lumières, il peut être intéressant, pour apprécier l'importance relative d'un tissu, de considérer non pas son épaisseur, mais le volume de ses cellules. Pour arriver d'une manière précise à ce résultat, je procède de la manière suivante. Je dessine les coupes à la chambre claire, et je les photographie sur une plaque de verre. Je puis alors projeter ces reproductions sur une grande feuille de papier et tracer les contours des cellules. Sur ces grands dessins, je puis évaluer directement les surfaces occupées par l'ensemble des tissus que je compare. Je puis encore découper chaque cellule; le poids de la partie découpée est évidemment proportionnel à la surface de la cellule correspondante. Ces données me permettent de déterminer le développement relatif du tissu palissadique et du tissu lacuneux, en laissant les méats de côté.

On peut ainsi se rendre compte que l'épaisseur plus grande de la feuille (dans le bleu que dans le vert par exemple), n'est pas due seulement à l'augmentation du système aérifère.

A ne considérer que le volume de l'ensemble des cellules, ce volume est plus grand dans le premier cas que dans le deuxième, abstraction faite des lacunes.

Les résultats obtenus, quant à la morphologie interne de la feuille, peuvent être résumés de la manière suivante :

1° Les diverses lumières colorées dont je me suis servi sont moins favorables au développement des tissus de la feuille que la lumière totale;

2° Les épaisseurs des tissus palissadique et lacuneux, ainsi que la largeur moyenne des lacunes aérifères, ont un minimum de développement dans le vert. Ces diverses dimensions sont plus grandes dans le rouge, et plus grandes encore dans le bleu. Le développement du tissu assimilateur et du système aérifère varie donc dans le même sens

que l'action retardatrice des différentes radiations sur la croissance de la tige ;

3° Les chloroleucites présentent, quant à leur volume, leur nombre et leur disposition, des variations analogues à celles énoncées pour le tissu assimilateur : ils sont dans la lumière verte plus petits, moins nombreux, à contours vagues, disposés sans ordre dans la cellule et sont moins verts que dans les lumières bleue et rouge. Dans ces dernières lumières, les chloroleucites sont toujours nettement visibles, plus grands et disposés plus régulièrement le long des parois de la cellule. Ils sont plus gros et plus verts dans le bleu què dans le rouge, dans celui-ci plus que dans le vert ;

4° Le nombre des stomates par unité de surface est plus grand dans le vert que dans le rouge et dans le rouge plus grand que dans le bleu. Mais cela ne veut pas dire que le nombre total des stomates est plus grand sur une feuille qui a été éclairée par la lumière verte que sur une feuille qui a poussé dans le rouge ou dans le bleu. Ce nombre est en réalité le même pour les trois espèces de lumières colorées, parce que les cellules se divisent avec la même rapidité, et par conséquent le nombre total des cellules est, approximativement, le même dans les trois sortes de feuilles, comme je l'ai constaté par des mesures spéciales. Cela est d'ailleurs en concordance avec les faits observés, en comparant les feuilles étiolées avec les feuilles cultivées en pleine lumière : il y a beaucoup plus de stomates par unité de surface dans le premier cas que dans le second. Or, Prantl (1) a montré que chez la feuille qui se développe dans une obscurité complète, et qui a son limbe très réduit, il se fait un grand nombre de divisions cellulaires. Sur la largeur de la feuille primordiale de *Phaseolus*, le nombre des cellules s'élevait, en effet, dans la graine non germée à 343, chez la plante étiolée de 1 375 à 2 571, chez la plante verte normale de 1 429 à 2 273.

(1) Prantl, *Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg*, fasc. III, p. 384.

CHAPITRE II

RACINE.

A. — Morphologie externe.

On sait que la radiation totale et équilatérale a une influence variable sur la croissance de la racine. Trois cas différents ont, en effet, été constatés. Le plus souvent, cette action est nulle, c'est-à-dire que les racines, qu'elles aient poussé à la lumière ou à l'obscurité, ont sensiblement la même longueur. Parfois, comme l'ont constaté Strehl (1), F. Darwin (2) et Devaux (3), la radiation totale retarde la croissance de la racine, qui alors est plus longue à l'obscurité qu'à la lumière. Plus rarement enfin, conformément aux observations de Famintzine (4) et Lasaref (5), relatives au *Lepidium sativum*, c'est à la lumière que la racine est la plus longue, contrairement à ce qui arrive pour les tiges de cette même plante.

J'ai observé moi-même ces trois cas, soit pour les plantes citées par les auteurs précédents, soit pour d'autres espèces.

Toutes les plantes sur lesquelles ont porté mes observations ont été cultivées dans une solution nutritive (liqueur de Knop). Ces cultures ont été faites de manière que les échantillons étaient exposés entièrement, racine et tige, soit à l'obscurité, soit à la lumière.

Dans les tableaux qui suivent, j'ai consigné en même temps la durée de la végétation. Il est en effet important d'arrêter les expériences au moment où les réserves de la graine sont épuisées, car, après ce moment, l'assimilation

(1) Strehl, *Untersuchungen ueber das Längenwachstum der Wurzel*, 1874.

(2) Fr. Darwin, *Arbeiten des bot. Inst. Würzburg*, Bd IV, 1880, p. 521.

(3) Devaux, *De l'action de la lumière sur les racines* (Bull. Soc. bot. de France, 1888, p. 305).

(4) Famintzine, *Mélanges biologiques*. Saint-Petersbourg, t. VIII.

(5) Lasaref, in *Botanischer Jahresbericht*, Bd II, p. 775.

chlorophyllienne des plantes exposées à la lumière étant le facteur le plus important dont dépend la vie de la plante, fait que les conditions de deux sortes de plantes ne sont plus comparables. C'est ainsi que pour une espèce, par exemple, les racines sont au début plus longues à l'obscurité qu'à la lumière. Mais, dès que les réserves des cotylédons sont épuisées, l'assimilation chlorophyllienne produit naturellement une plante beaucoup plus vigoureuse, et il n'est pas étonnant, dès lors, que les racines elles-mêmes deviennent plus longues à la lumière qu'à l'obscurité. Mais, comme on le voit, c'est un phénomène d'un autre ordre, relatif à une nouvelle phase de la vie de la plante, phase que nous n'étudions pas.

Ceci posé, les tableaux suivants fournissent les résultats que j'ai obtenus.

1. Plantes dont les racines ont à peu près la même longueur à la lumière qu'à l'obscurité.

	LONGUEUR MOYENNE DES RACINES A LA LUMIÈRE.	LONGUEUR MOYENNE DES RACINES A L'OBSCURITÉ.
<i>Ricinus sanguineus</i> (11 jours).....	230 millim.	232 millim.
— (22 jours)....	245 —	250 —
<i>Vicia sativa</i> (8 jours).....	150 —	145 —
— (18 jours).....	166 —	159 —

2. Plantes dont les racines sont plus longues à l'obscurité qu'à la lumière.

	LONGUEUR MOYENNE DES RACINES A LA LUMIÈRE.	LONGUEUR MOYENNE DES RACINES A L'OBSCURITÉ.
<i>Lupinus albus</i> (47 jours).....	152 millim.	360 millim.
<i>Faba vulgaris</i> (30 jours).....	199 —	262 —
<i>Phaseolus multiflorus</i> (33 jours)...	185 —	220 —

3. Plantes dont les racines sont plus courtes à l'obscurité qu'à la lumière.

	LONGUEUR MOYENNE DES RACINES A LA LUMIÈRE.	LONGUEUR MOYENNE DES RACINES A L'OBSCURITÉ.
<i>Lepidium sativum</i> (10 jours).....	115 millim.	25 millim.

On voit donc que, suivant la plante, les effets de la lumière sont très différents, même opposés. Cela ne serait-il pas dû à ce que les diverses radiations qui composent la lumière blanche n'ont pas le même effet sur toutes les espèces? Pour essayer de répondre à cette question, étudions à diverses lumières monochromatiques les plantes dont nous avons parlé plus haut.

Dans la première catégorie, celles où les racines ont à peu près la même longueur à la lumière et à l'obscurité, nous avons trouvé par exemple *Vicia sativa*. Cultivons cette plante dans les lumières rouge, verte et bleue. Nous trouvons qu'au bout de vingt-deux jours les racines ont respectivement les longueurs suivantes :

Lumière rouge.....	135 millimètres.	
— verte.....	132	—
— bleue.....	140	—

En un mot, les diverses radiations produisent des longueurs sensiblement égales.

Pour la seconde catégorie, comparable à celle où les racines sont plus longues à l'obscurité qu'à la lumière, les tableaux suivants nous fournissent les résultats obtenus pour les lumières colorées.

1. *Phaseolus multiflorus* (16 août-6 septembre).

Nature des radiations.	Longueur de la racine.
	90 millimètres.
Lumière rouge.....	95 —
	90 —
	100 —
Moyenne.....	93 —
	140 —
Lumière verte.....	125 —
	80 —
	90 —
	100 —
Moyenne.....	107 —
	70 —
Lumière bleue.....	80 —
	90 —
	75 —
Moyenne.....	78 —

 2. *Faba vulgaris* (6-30 juillet).

Nature des radiations.	Longueur de la racine.
	220 millimètres.
Lumière rouge.....	225 —
	270 —
Moyenne.....	238 —
	300 —
Lumière verte.....	220 —
	260 —
Moyenne.....	260 —
	180 —
Lumière bleue.....	220 —
	190 —
Moyenne.....	196 —

 3. *Polygonum Fagopyrum* (19 août-2 septembre).

Nature des radiations.	Longueur de la racine.
	100 millimètres.
	110 —
	120 —
Lumière rouge.....	115 —
	105 —
	90 —
	100 —
Moyenne.....	106 —
	135 —
	115 —
Lumière verte.....	130 —
	140 —
	131 —
	125 —
Moyenne.....	129 —

	(	405	millimètres.
		405	—
		65	—
Lumière bleue.....	)	84	—
		110	—
		91	—
Moyenne.....		93	—

Ici, c'est dans la lumière verte que les racines sont les plus longues ; elles sont déjà plus courtes chez les plantes éclairées par les radiations rouges, plus courtes encore dans la lumière bleue.

Arrivons à la troisième catégorie, celle où les racines sont plus courtes à l'obscurité (*Lepidium sativum*). Les radiations des différentes réfrangibilités produisent les effets consignés ci-dessous.

Lepidium sativum (1^{er}-13 avril).

Nature des radiations.	Longueur de la racine.
	65 millimètres.
	65 —
	71 —
Lumière rouge	67 —
	65 —
	65 —
	70 —
Moyenne.....	66 —
	56 —
	55 —
	54 —
Lumière verte.....	55 —
	55 —
	53 —
	57 —
Moyenne.....	55 —
	70 —
	72 —
	71 —
	66 —
Lumière bleue.....	74 —
	67 —
	68 —
	77 —
	77 —
Moyenne.....	71 —

Par le tableau précédent, on voit donc que c'est dans la lumière verte que les racines sont les plus courtes ;

elles sont déjà plus longues dans la lumière rouge; elles sont plus longues encore dans la lumière bleue.

Si nous rapprochons ces derniers résultats de ceux qui ont été obtenus dans la comparaison entre la lumière blanche et l'obscurité, nous constatons que les trois cas signalés plus haut se retrouvent dans la comparaison des lumières colorées :

1° Pour une plante chez laquelle la lumière blanche retarde la croissance de la racine (*Lupinus albus*, *Faba vulgaris*, *Phaseolus multiflorus*, etc.), c'est la lumière bleue qui la retarde le plus, et alors c'est à la lumière verte, comme à l'obscurité, que les racines atteignent leur plus grande longueur;

2° Quand au contraire les racines d'une espèce sont plus longues à la lumière blanche qu'à l'obscurité (*Lepidium sativum*), c'est dans la lumière bleue qu'elles sont également les plus longues et c'est sous l'influence des radiations vertes qu'elles atteignent leur plus faible dimension;

3° Quand, enfin, il n'y a que peu de différences entre les longueurs à la lumière totale et à l'obscurité, il y en a également peu entre les longueurs obtenues aux diverses lumières monochromatiques (*Vicia sativa*, etc.).

La comparaison des schémas suivants (fig. 16) montre nettement l'ensemble de ces résultats. En A_1 , l'ordonnée O représente la longueur de la racine à l'obscurité, et l'ordonnée L la longueur de cet organe à la lumière. En B_1 , les ordonnées R, V, B, sont respectivement proportionnelles aux mêmes longueurs dans les lumières rouge, verte et bleue. On voit que l'ordonnée V est plus longue que R et B, de même que O est plus grande que L. Dans les schémas A_2B_2 , l'ordonnée O est plus petite que l'ordonnée L, de même que l'ordonnée V est plus petite que les ordonnées R et V. Et enfin, dans les schémas A_3B_3 , les ordonnées O et L étant sensiblement égales, il en est de même pour R, V et B.

En résumé, la lumière bleue est celle dont l'action se

rapproche le plus de celle de la radiation totale; la lumière verte est au contraire celle qui produit l'effet le plus voisin de l'effet de l'obscurité; la lumière rouge, enfin, nous apparaît comme intermédiaire entre les deux précédentes.

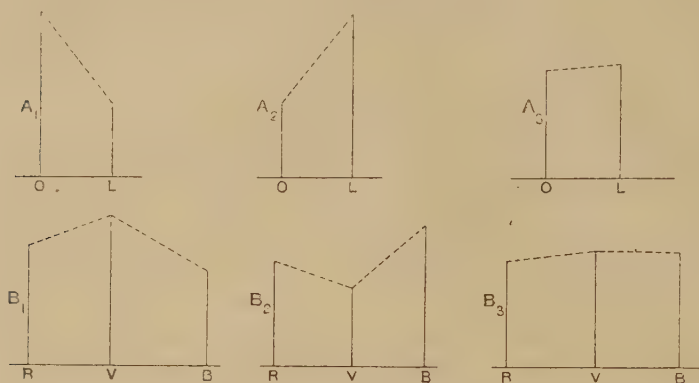


Fig. 16. — Accroissement en longueur de la racine. — Comparaison entre la lumière totale et l'obscurité (A_1 , A_2 , A_3); en A_1 , la racine est plus longue à l'obscurité; en A_2 , elle est plus courte; en A_3 , elle est sensiblement de même longueur qu'à la lumière. — Comparaison entre les lumières rouge, verte et bleue (B_1 , B_2 , B_3); en B_1 , c'est à la lumière verte que la racine est le plus longue; en B_2 , c'est à cette lumière qu'elle est le plus courte; en B_3 , les longueurs sont à peu près les mêmes aux diverses lumières.

Si donc nous avons obtenu à la lumière blanche comparée à l'obscurité trois résultats différents, et que l'on pourrait croire contradictoires, cela paraît tenir à ce que les radiations simples qui entrent dans la composition de cette lumière agissent différemment sur les diverses espèces de plantes.

B. — Morphologie interne.

Nous avons vu précédemment que les plantes soumises à l'action des rayons de différentes réfrangibilités présentent des changements dans la croissance et dans l'aspect extérieur de leurs racines. Examinons maintenant la structure de ces organes et voyons quelles sont les modifications des divers tissus.

Mais avant d'aborder l'étude de ces modifications, je consignerai, pour chaque espèce, les résultats obtenus en me-

surant l'épaisseur de l'écorce, ainsi que le diamètre du cylindre central et de la racine entière. J'indiquerai tout d'abord la manière que j'ai employée pour faire les mesures de ces trois régions. Pour obtenir le diamètre du cylindre central, je n'ai pas pris comme limite externe l'endroit où l'endoderme et le péricycle se touchent, mais les vaisseaux les plus externes du protoxylème, quand la racine ne renfermait que des formations primaires; quand la couche génératrice libéroligneuse avait déjà fonctionné et produit un anneau de bois secondaire entourant complètement le bois primaire, j'ai pris comme limite externe du cylindre central les derniers vaisseaux secondaires formés. Cette limite est par conséquent tout à fait conventionnelle; ce qui m'a obligé d'avoir recours à cela, ce sont les variations d'épaisseur du péricycle de la racine, variations qui n'ont, en général, aucun rapport avec le développement plus ou moins grand du cylindre central. En effet, le péricycle étant, chez les Phanérogames, l'assise rhizogène, celle-ci ne présente pas toujours la même épaisseur sur toute son étendue, dans la région où les radicules commencent à se former; les plages rhizogènes ayant des épaisseurs différentes aux différents niveaux, empêchent d'apprécier bien les dimensions du cylindre central. Pour obtenir l'épaisseur de l'écorce, j'ai pris les limites normales de cette région.

On comprend dès lors que dans les tableaux suivants le diamètre total de la racine ne sera pas nécessairement égal à la somme du diamètre du cylindre central et du double de l'écorce; il sera plus grand en général.

Ceci posé, passons en revue les principales espèces sur lesquelles j'ai expérimenté.

1. *Faba vulgaris*.

Les épaisseurs des principales zones de la racine et son diamètre total aux diverses lumières sont fournies par le tableau suivant :

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges.	0,230	0,495	1,705
Vertes.	0,491	0,393	1,221
Bleues.	6,445	0,726	2,112

Ces chiffres nous montrent que, toutes choses égales d'ailleurs, les dimensions de l'écorce et du cylindre central, et par conséquent aussi de la racine entière, présentent un minimum dans la lumière verte, et deux maxima, l'un, qui est plus faible, dans la lumière rouge, l'autre, plus élevé, dans la lumière bleue.

Passons maintenant à la description des divers tissus.

1° *Lumière blanche.* — Je vais suivre la structure de la racine de cette plante, du sommet vers la base. A une distance de 15 millimètres du sommet, on observe que le cylindre central de la racine principale comprend 4 à 5 faisceaux ligneux (le plus souvent 5), disposés sous forme de lames radiales, et alternant avec autant de faisceaux libériens. A ce niveau, les faisceaux vasculaires primaires, composés de 7 à 9 vaisseaux, ont fini leur évolution et les formations secondaires commencent à s'établir. Dans le liber primaire, il y a des îlots de fibres, qui séparent chaque faisceau en deux et se composent d'éléments à paroi épaissie et lignifiée; la portion externe du liber primaire se trouve écrasée entre ces îlots de fibres et le péricycle.

La couche génératrice libéroligneuse, qui est ondulée et embrasse par ses angles rentrants le liber primaire, présente le maximum d'épaisseur en face de ce dernier tissu, tandis qu'en face du bois primaire cette couche génératrice n'est composée que d'une seule cellule procambiale, divisée en deux par une paroi tangentielle. A cause de ce développement inégal de la couche génératrice, la différenciation des éléments secondaires commence d'abord dans la portion intra-

libérienne; les premiers vaisseaux secondaires formés ont quelquefois leurs parois lignifiées, mais le plus souvent la lignification ne s'est pas encore produite et l'on ne distingue ces vaisseaux qu'à cause de la large lumière des cellules qui les constituent.

2° *Lumière rouge.* — A la même distance du sommet des racines principales des plantes qui ont été éclairées par la lumière rouge, on n'observe dans le cylindre central que des formations primaires. Ces tissus sont moins développés que dans la lumière blanche; c'est ainsi que les faisceaux ligneux sont composés seulement de 4 à 5 vaisseaux, parmi lesquels les trois externes seuls ont leur paroi bien lignifiée; pour les derniers vaisseaux primaires, qui occupent le centre de la racine, les parois sont très minces et la lignification commence à peine. Dans les faisceaux libériens, les cellules correspondant à celles qui, dans la lumière blanche, sont transformées en fibres, ne présentent pas, dans la lumière rouge, des épaisseurs de parois les distinguant des autres éléments libériens. La portion du liber qui se trouve en contact direct avec le péricycle, et qui, dans la lumière blanche, est écrasée, se compose ici de cellules très régulières, et qui non seulement ne sont pas aplaties tangentiellement, mais encore sont allongées dans le sens radial.

3° *Lumière verte.* — On observe, au niveau mentionné, à peu près la même structure que chez les plantes qui ont été exposées aux radiations rouges. Seulement, si on poursuit la série de coupes en s'éloignant de plus en plus du sommet de la racine, on constate que les formations secondaires apparaissent à une distance plus grande de ce sommet dans la lumière verte que dans la lumière rouge, et que, par conséquent, le développement se fait moins vite dans le premier cas que dans le dernier.

4° *Lumière bleue.* — La structure de la racine principale, sur les coupes faites au même niveau, présente à peu près les mêmes caractères que dans la lumière blanche, tant au point de vue des formations primaires que secondaires.

Étudions maintenant les coupes faites au milieu de la longueur de la racine principale.

1° *Lumière blanche*. — A ce niveau, la couche génératrice libéroligneuse a fonctionné et a produit des tissus secondaires bien caractérisés. Le bois secondaire est formé de séries radiales de 5 vaisseaux, en général; ce bois est juxtaposé latéralement au bois primaire et forme avec lui un seul anneau ligneux continu. Les îlots de fibres libériennes sont composés d'éléments à paroi très lignifiée et le liber primaire, qui se trouve en dehors de ces îlots, est entièrement écrasé, à ce point qu'il est impossible de voir les contours des cellules. La portion de la couche génératrice qui se trouve en dehors du protoxylème est épaisse et composée de séries radiales de 5 à 6 cellules de méristème.

2° *Lumière rouge*. — L'assise génératrice est continue comme dans la lumière blanche, mais les divers tissus sont moins développés. C'est ainsi que le bois primaire, qui dans les plantes exposées à la radiation totale était composé de faisceaux de 8 à 9 vaisseaux, est ici à peu près au même état que dans celui décrit plus haut pour les coupes faites tout près du sommet de la racine; cependant les vaisseaux primaires, les derniers formés, ont leurs parois plus épaisses et bien lignifiées.

Le bois secondaire est constitué de séries de cellules présentant généralement deux vaisseaux et ces vaisseaux sont peu lignifiés. En outre, les bois primaire et secondaire ne forment pas un anneau complet, comme dans la lumière blanche, mais au contraire discontinu.

Il n'y a pas ici dans le liber primaire d'îlots scléreux; toutes les cellules restent à paroi mince et cellulosique. Enfin la portion du liber primaire qui s'appuie directement sur le péricycle n'a pas été détruite, mais ses éléments, à paroi ondulée, ont été seulement comprimés dans le sens tangentiel.

3° *Lumière verte*. — Les formations secondaires commencent à peine à s'établir; la couche génératrice n'a pas encore produit d'éléments définitifs, si ce n'est un seul

vaisseau qu'on peut reconnaître par son grand calibre, mais dont les parois ne sont pas du tout lignifiées. Les tissus primaires présentent les caractères normaux, les fibres libériennes manquent, et les éléments libériens sous-péricycliques ne sont pas du tout déformés par la compression des tissus plus internes.

4° *Lumière bleue*. — Les racines des plantes qui ont été éclairées par cette lumière présentent, au point de vue de leur structure, des caractères intermédiaires entre ceux des plantes de la lumière rouge et ceux de la lumière blanche. En effet, la couche génératrice fonctionne depuis longtemps; elle a donné naissance à de nombreux vaisseaux secondaires qui forment avec le bois primaire un anneau complet. Les îlots de fibres libériennes sont constitués par des cellules à paroi épaisse et lignifiée, mais ce caractère est un peu moins accentué que dans la lumière blanche. Enfin la portion du liber qui se trouve entre ces îlots et le péricycle est complètement écrasée.

5° *Obscurité*. — Si l'on compare la structure des racines précédentes avec celle des plantes qui ont été cultivées dans l'obscurité complète, on constate que la différenciation est encore moins avancée que dans la lumière verte. C'est à peine si on voit quelques cellules isolées, divisées en deux tangentiellement, indiquant le début du fonctionnement de la couche génératrice.

En résumé, on constate pour les racines de la Fève les modifications suivantes, produites par les trois espèces de lumières colorées :

1° Le diamètre du cylindre central et l'épaisseur de l'écorce ne présentent pas les mêmes dimensions chez les plantes exposées dans les diverses radiations : le maximum de ces dimensions est atteint dans les lumières bleue et rouge, le minimum dans la lumière verte. Comme pour l'épaisseur de la feuille, les dimensions de l'écorce et du cylindre central de la racine présentent un maximum plus faible dans le rouge que dans le bleu.

2° On distingue des différences analogues pour le développement du bois et du liber, le fonctionnement de l'assise génératrice libéroligneuse, la lignification des parois. Dans les radiations vertes, le bois primaire présente très peu de vaisseaux et il n'y a pas de paquets fibreux dans le liber primaire, les éléments conducteurs secondaires ne sont pas encore différenciés. Ce sont les racines de la lumière verte qui se rapprochent le plus, par leur structure, de celles de l'obscurité. A la lumière rouge, la différenciation est déjà plus considérable ; enfin, dans la lumière bleue, les racines présentent des caractères de structure qui les rapprochent beaucoup de ceux des plantes exposées à la lumière blanche.

2. *Ricinus sanguineus* (Ricin sanguin).

Les résultats obtenus en mesurant les dimensions de l'écorce, du cylindre central et de la racine entière sont consignés dans le tableau suivant :

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges	0,364	0,616	1,683
Vertes	0,330	0,580	1,630
Bleues	0,374	0,605	1,705

Comme pour la plante précédente, les dimensions en épaisseur de l'écorce, du cylindre central et par conséquent aussi de la racine entière présentent un minimum dans le vert, et deux maxima, l'un dans le rouge, l'autre dans le bleu.

Les tissus nous montrent les modifications suivantes :

1° *Lumière blanche*. — Dans la lumière blanche, les formations libéroligneuses secondaires sont très développées. L'assise génératrice, composée de séries de 8 à 10 cellules,

est continue, et a donné naissance à des gros paquets de bois secondaire qui, en s'unissant latéralement aux faisceaux ligneux primaires, forment un anneau complet. En dehors des faisceaux ligneux primaires, l'assise génératrice libéroligneuse, quoique très épaisse et composée de séries radiales de 7 à 8 cellules, n'a pas encore donné de vaisseaux secondaires. Enfin, le bois de la racine occupe toute la partie centrale de celle-ci, de sorte qu'il n'existe pas de moelle.

2° *Lumière rouge*. — Dans la lumière rouge, comme d'ailleurs dans toutes les autres lumières colorées, les formations secondaires sont beaucoup moins développées. Le cylindre central est constitué de 4, rarement de 5 faisceaux ligneux primaires, dont chacun contient 7 à 12 vaisseaux ; le nombre total des vaisseaux primaires qu'on voit sur les sections transversales faites au milieu de la longueur de la racine est de 35 environ. Les faisceaux ne se réunissent pas au centre, de sorte qu'il reste une région médullaire composée d'éléments à parois minces et non lignifiées.

L'assise génératrice libéroligneuse ne fait que commencer à fonctionner et se présente sous forme d'arcs intralibériens ; en dehors du protoxylème, elle est interrompue. Ces arcs générateurs sont composés d'une assise de cellules, dont chacune est divisée en deux par une cloison tangentielle.

3° *Lumière verte*. — Chez les plantes éclairées par cette lumière, les racines présentent une structure encore plus simple. Les faisceaux ligneux sont formés chacun de 5 à 6 vaisseaux ; le nombre total de ceux-ci étant, en terme moyen, de 30 par section transversale. La moelle est, ici aussi, composée d'éléments non lignifiés. La couche génératrice libéroligneuse est moins développée que dans le cas précédent ; en effet, elle ne forme même pas des arcs complets, mais on observe seulement, à la partie interne des faisceaux libériens, des cellules isolées qui commencent à se cloisonner tangentiellement.

4° *Lumière bleue*. — Les racines des plantes qui ont été exposées à cette lumière présentent à peu près la même

structure que dans la lumière rouge, mais les faisceaux vasculaires sont plus développés ; ils sont composés chacun de 9 à 12 vaisseaux et leur total est, en terme moyen, de 40. La couche génératrice libéroligneuse est formée d'arcs intralibériens, et composée, dans chaque série radiale, approximativement d'un même nombre de cellules que dans la lumière rouge.

3. *Lupinus albus* (Lupin blanc).

L'épaisseur de l'écorce, du cylindre central et de la racine entière présente les mêmes rapports que dans les espèces précédemment décrites, comme on peut voir par le tableau suivant.

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges	0,418	0,374	1,320
Vertes	0,319	0,220	0,891
Bleues	0,473	0,393	1,342

1° *Lumière blanche*. — Comme pour les plantes précédentes, je ne décrirai que le cylindre central, parce que les modifications sont plus nettes dans cette région de la racine.

Sur les sections transversales faites au milieu de la longueur de cet organe, au bout de quarante-cinq jours de végétation, on voit que le cylindre central a une structure binaire ; les deux faisceaux primaires ont fini depuis longtemps leur évolution ; ils se composent chacun, en général, de 35 à 40 vaisseaux de petit calibre et de 1 à 2 vaisseaux très larges. Ces derniers se rencontrent avec ceux du faisceau opposé, au centre de la racine. Le liber primaire est formé d'un ilot de fibres libériennes à parois faiblement lignifiées, tandis que les éléments qui se trouvent entre cet ilot et le péricycle sont complètement écrasés et forment une

ligne épaisse, qui au premier abord apparaît comme un épaississement de la paroi interne des cellules péricycliques. La couche génératrice libéroligneuse est représentée par deux arcs, dont chacun est composé dans sa partie moyenne de séries radiales de 6 à 7 cellules. Le bois secondaire est formé, de chaque côté de la bande ligneuse primaire, de 3 à 5 larges vaisseaux, séparés par du parenchyme ligneux intervasculaire.

2° *Lumière rouge*. — Au même niveau et chez les plantes de même âge, les faisceaux ligneux primaires sont composés de 20 à 25 vaisseaux de petit calibre et d'un seul vaisseau large, qui se rencontre avec le gros vaisseau du faisceau opposé, au centre de la racine. Les éléments libériens destinés à se transformer en fibres ont encore des parois minces et cellulósiques; les cellules libériennes qui se trouvent au contact immédiat du péricycle sont très peu comprimées, de manière qu'on peut encore bien voir leur lumière. La couche génératrice est constituée dans sa partie moyenne par des séries de 4 à 5 cellules cambiales; les cellules les plus internes de cette couche commencent à se différencier, mais les vaisseaux secondaires sont encore sous forme d'éléments à paroi cellulósique et ne se reconnaissent que grâce à leur diamètre très grand.

3° *Lumière verte*. — Les faisceaux ligneux primaires présentent à peu près le même développement et le même nombre de vaisseaux que dans la lumière rouge; il en est de même du liber primaire; mais les formations secondaires ne sont pas aussi avancées que dans le cas précédent. C'est ainsi que la couche génératrice est composée de séries radiales de 3 cellules et les vaisseaux secondaires ne sont pas encore différenciés, et on ne peut même distinguer les cellules qui deviendront des vaisseaux parce que tous les éléments ont le même diamètre.

4° *Lumière bleue*. — Les racines des plantes qui ont été cultivées dans la lumière bleue se rapprochent, par leur structure, plutôt de celles des plantes qui ont été soumises

à la lumière blanche. Les différences tiennent à l'absence des îlots de fibres libériennes et à la plus faible lignification des vaisseaux secondaires. De même les éléments libériens qui s'appuient directement sur le péricycle sont moins écrasés que dans la lumière blanche.

5° *Obscurité*. — Si nous observons maintenant la racine des plantes cultivées dans l'obscurité, on constate que les divers tissus sont encore moins développés que dans la lumière verte. D'abord, les faisceaux ligneux primaires ne contiennent que 15 à 20 vaisseaux ; les derniers vaisseaux primaires formés à grand diamètre, qui dans les cas précédents réunissent les deux faisceaux opposés au centre de la racine, sont représentés ici par des éléments à paroi encore cellulosique. Le liber primaire est complètement dépourvu de fibres et les cellules qui s'appuient directement sur le péricycle ne sont guère comprimées. Enfin, la couche génératrice commence à peine à fonctionner et aucun vaisseau secondaire n'est différencié.

4. *Cicer arietinum* (Pois chiche).

Les dimensions de l'écorce, du cylindre central et de la racine entière sont consignées dans le tableau suivant.

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges	0,385	0,484	1,474
Verles	0,320	0,350	1,105
Bleues	0,396	0,572	1,617

Sur les coupes faites dans le tiers supérieur des racines principales, on constate les modifications suivantes.

1° *Lumière blanche*. — Le procambium a cessé de donner du bois et du liber primaires. Le cylindre central contient

quatre faisceaux ligneux primaires, qui se rencontrent au centre de la racine, où les vaisseaux larges sont réunis par du parenchyme intervasculaire composé d'éléments lignifiés. Le système ligneux présente, sur les coupes transversales, la forme d'un carré, dont les côtés sont un peu concaves vers l'extérieur et dont les angles sont occupés par les premiers vaisseaux formés (protoxylème). Les quatre ou cinq vaisseaux qui forment les angles externes des faisceaux ligneux primaires sont très étroits; tous les autres ont un diamètre très large par rapport à ce que nous verrons chez les plantes qui ont été éclairées par les lumières colorées. Le paquet de fibres, caractéristique pour le liber des Légumineuses, est déjà bien différencié, et les éléments libériens situés en dehors de ce paquet ont été tout à fait écrasés, à cause de la pression exercée par le développement des tissus internes.

L'assise génératrice libéroligneuse a fonctionné, produisant des vaisseaux secondaires qui sont situés dans les concavités des côtés du carré formé par le bois primaire. Parmi les vaisseaux secondaires, les uns sont lignifiés, les autres se présentent sous forme d'éléments à grand calibre, mais à paroi encore cellulosique. L'assise génératrice est continue, c'est-à-dire qu'elle s'est établie également en dehors des extrémités des faisceaux ligneux primaires.

2° *Lumière rouge*. — Les racines des plantes éclairées par cette espèce de lumière présentent dans la structure du cylindre central les caractères décrits plus haut, avec cette différence que l'assise génératrice a moins fonctionné : c'est ainsi que les vaisseaux secondaires déjà différenciés sont moins nombreux et la plupart d'entre eux ne peuvent être reconnus que par leur calibre plus grand, car leur paroi est mince et encore cellulosique (Pl. VIII, R).

3° *Lumière verte*. — Les racines ont une structure beaucoup plus simple que dans les deux cas précédents. Les faisceaux ligneux primaires ne sont composés que de vaisseaux étroits (Pl. VIII, V). Les vaisseaux à grand diamètre, qui occupent le centre de la racine dans les plantes décrites pré-

cédemment, sont ici représentés par des éléments à paroi cellulosique. Ces faisceaux primaires ne présentent donc pas de vaisseaux lignifiés se rencontrant au centre de la racine ; cependant l'union se fait latéralement par les vaisseaux d'origine secondaire. Le système ligneux a, sur les coupes transversales, la forme d'un carré, mais dont la bordure seulement est constituée par des éléments lignifiés, tandis que le centre est cellulosique.

L'assise génératrice n'est pas continue ; elle est représentée par des arcs qui embrassent par leur concavité le liber primaire. Dans les séries radiales, les cellules cambiales sont moins nombreuses que dans les deux cas précédents.

4° *Lumière bleue*. — Les racines des plantes qui ont poussé sous l'action de la lumière bleue se rapprochent beaucoup par la structure du cylindre de celles de la lumière rouge.

5. *Cucurbita Pepo* (Courge).

1° *Lumière blanche*. — Si on étudie les coupes faites à 1 centimètre de la base de la racine, on constate les particularités suivantes : en dedans de l'endoderme, le cylindre central commence par un péricycle simple, dont les cellules sont plus allongées dans le sens radial en face des faisceaux ligneux primaires. Ceux-ci sont au nombre de quatre, ayant chacun la forme d'un îlot triangulaire, ou bien quelquefois ils sont aplatis tangentiellement et les vaisseaux dont ils se composent sont à petit diamètre. Les faisceaux libériens sont constitués en dehors d'éléments petits, tandis qu'en dedans les tubes criblés sont à grand diamètre. Sur le bord interne de chaque faisceau libérien, on observe un arc très épais de tissu générateur ; de semblables arcs, mais beaucoup moins développés et composés de cellules plus grandes, se sont formés en dehors des faisceaux ligneux primaires. Les arcs générateurs intralibériens et ceux qui se trouvent en dehors des faisceaux ligneux primaires se touchent latéralement, formant ainsi une couche continue.

Les faisceaux ligneux secondaires se composent de 4 à 6 vaisseaux, beaucoup plus larges que les vaisseaux primaires. A part le liber secondaire des faisceaux libéroligneux, on observe dans la zone pérимédullaire un liber secondaire interne. En effet, tant à la partie interne des faisceaux ligneux primaires que secondaires, on constate que des cellules isolées commencent à se diviser en deux par une cloison tangentielle et les deux cellules qui en résultent continuent à se diviser et à produire définitivement de petits groupes libériens; le nombre de ces groupes libériens est très grand dans les racines que je décris.

2° *Lumière rouge*. — Dans les racines des plantes qui ont été cultivées derrière l'écran rouge, on trouve les mêmes tissus, mais leur structure est moins avancée. Ainsi, par exemple, le bois secondaire est formé d'un moins grand nombre de vaisseaux larges, quatre au plus; en ce qui concerne le liber secondaire pérимédullaire, on observe que le nombre des îlots est moindre que dans la lumière blanche.

3° *Lumière verte*. — Chez les plantes de la lumière verte, les tissus de la racine sont encore moins développés que dans la lumière rouge. Les faisceaux ligneux primaires sont constitués par un plus petit nombre de vaisseaux, la couche génératrice est composée de séries radiales de cellules dont le nombre est moitié de ce que nous avons vu pour la lumière rouge. Dans chaque faisceau du bois secondaire, on observe quatre vaisseaux, dont deux seulement, les premiers formés, ont leur diamètre large; les deux autres, qui se sont différenciés plus tard, sont beaucoup plus petits, à peu près tout aussi petits que les vaisseaux primaires. Enfin le liber pérимédullaire non seulement n'est pas encore formé, mais on ne peut observer aucun commencement de division des cellules qui doivent lui donner naissance.

4° *Lumière bleue*. — Les racines présentent le même état de développement que chez les plantes cultivées dans la lumière rouge.

6. *Helianthus annuus* (Grand-Soleil).

Pour les racines de cette plante, j'examinerai des coupes faites à deux niveaux différents, les unes plus près de la base, les autres dans la proximité du sommet. Les deux tableaux suivants montrent les dimensions relatives des différentes régions :

1. A 5 centimètres de la base de la racine.

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges	0,253	0,319	0,979
Vertes	0,132	0,264	0,660
Bleues	0,187	0,341	0,937

2. A 1 centimètre de la base de la racine.

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges	0,341	0,484	1,47½
Vertes	0,253	0,462	1,319
Bleues	0,363	0,616	1,804

Les coupes faites à 5 centimètres de la base de la racine présentent les particularités suivantes.

1° *Lumière rouge*. — Le cylindre central est composé de deux faisceaux vasculaires, qui alternent avec autant de faisceaux libériens. Le bois primaire est représenté à la périphérie par trois à quatre vaisseaux étroits, et vers la partie centrale par autant de vaisseaux à grand diamètre, qui se rencontrent avec ceux du faisceau opposé pour former une bande ligneuse diamétrale. D'un côté et de l'autre de cette bande ligneuse primaire, entre celle-ci et le liber primaire,

se trouve un arc cambial, qui a fonctionné et a produit vers l'intérieur le bois secondaire composé de 6 à 11 vaisseaux à parois lignifiées et d'autres dont la paroi est encore à l'état cellulosique. La couche génératrice n'est composée que de deux cellules en épaisseur.

2° *Lumière verte*. — Dans la lumière verte, les racines ne possèdent que du bois primaire, et encore celui-ci n'est pas arrivé à son développement complet. En effet, chacun des faisceaux ligneux primaires se montre constitué par quelques vaisseaux externes (5 à 6) à petit calibre; vers la partie centrale des faisceaux, on trouve quelques vaisseaux plus larges, mais dont les derniers formés ont leur paroi mince et cellulosique, ce qui fait que les deux faisceaux ne se réunissent au centre de la racine que par des éléments non lignifiés encore. L'assise génératrice est développée, mais elle n'a pas donné naissance à des éléments conducteurs secondaires.

3° *Lumière bleue*. — Les racines sont à peu près au même état de développement que dans la lumière rouge. En outre des tissus primaires, on observe un grand développement d'éléments secondaires; le bois secondaire contient un peu plus de vaisseaux que dans la lumière rouge.

Si on observe maintenant les coupes faites plus près de la base de la racine, à 1 centimètre de cette base, par exemple, on constate les modifications suivantes :

1° *Lumière rouge*. — Il existe quatre faisceaux ligneux, qui se rencontrent au centre de la racine. La couche génératrice, qui se présente sous forme de quatre arcs intralibériens, a donné naissance à de nombreux vaisseaux secondaires, qui forment avec les vaisseaux primaires un groupe ligneux qui occupe la plus grande partie du cylindre central.

2° *Lumière verte*. — Comme dans la lumière rouge, on trouve ici quatre faisceaux ligneux, mais inégalement développés. Deux d'entre eux se rencontrent au centre de la racine par des vaisseaux primaires très larges et forment une bande ligneuse diamétrale. Les deux autres faisceaux, situés d'un

côté et de l'autre de la bande ligneuse précédente, s'arrêtent à une certaine distance de cette bande, dont ils sont séparés par des éléments à paroi cellulosique.

L'assise génératrice est au commencement de son fonctionnement; elle n'a produit, jusqu'à ce moment, que très peu d'éléments conducteurs secondaires.

3° *Lumière bleue*. — Tous les tissus sont plus développés, non seulement que dans la lumière verte, mais encore que dans la lumière rouge; les quatre faisceaux ligneux se rencontrent au centre, et le bois secondaire présente un très grand développement.

7. *Cannabis sativa* (Chanvre).

Comme on peut le voir par le tableau ci-joint, les dimensions de l'écorce, du cylindre central et par conséquent de la racine entière présentent les mêmes variations que chez les espèces précédemment décrites. Il en est de même pour la modification des tissus, comme on le verra par la description qui suit :

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges	0,172	0,202	0,715
Vertes	0,148	0,175	0,634
Bleues	0,170	0,256	0,893

1° *Lumière blanche*. — Sur les coupes faites dans le tiers supérieur de la racine des plantes au bout de quarante jours de végétation, le cylindre central présente les caractères suivants. Les deux faisceaux ligneux primaires sont depuis longtemps complètement développés et réunis entre eux dans la partie centrale par de larges vaisseaux; du liber primaire, il ne reste rien, parce qu'il a été écrasé entre le

péricycle et les tissus secondaires qui se sont formés en dedans. En effet, ces derniers tissus sont très développés; la couche génératrice forme un anneau complet très épais, qui a produit du bois secondaire enveloppant tout autour le bois primaire. La couche de bois secondaire est beaucoup plus épaisse sur le côté de la bande de bois primaire (sept fois plus épaisse que cette bande), qu'en face du protoxylème.

A ce niveau, l'assise pilifère est complètement détruite, tandis que l'assise corticale sous-jacente a les parois de ses cellules subérifiées.

2° *Lumière rouge*. — Les deux faisceaux vasculaires et libériens primaires se comportent à peu près comme dans le cas précédent; mais les tissus secondaires sont loin d'atteindre le même développement. La couche génératrice libéroligneuse ne forme pas un anneau continu, elle se présente sous la forme de deux arcs intralibériens qui ne se réunissent pas en dehors du protoxylème. Le bois secondaire est représenté, dans chaque faisceau libéroligneux, par 5 à 6 vaisseaux, dont les deux derniers formés sont encore à paroi cellulosique et ne peuvent être distingués, sur les coupes transversales, que par leur calibre plus large.

L'assise pilifère n'est pas encore exfoliée; cependant, les poils absorbants sont flétris et la plupart d'entre eux sont tombés; l'assise corticale sous-jacente est composée de cellules à parois subérifiées, comme dans la lumière blanche.

3° *Lumière verte*. — Les tissus primaires et secondaires du cylindre central présentent le minimum de développement dans les racines des plantes qui ont été éclairées par la lumière verte. Les faisceaux ligneux primaires n'ont pas encore fini leur complet développement; en effet, les derniers vaisseaux différenciés ont encore leur paroi mince et cellulosique, de manière que les deux faisceaux ligneux se rencontrent au centre de la racine par des éléments non lignifiés. D'autre part, les vaisseaux primaires sont tous beaucoup plus étroits que dans la lumière rouge. La couche génératrice libéroligneuse est tout à fait au commencement

de son fonctionnement et consiste en séries radiales de 2 à 3 cellules à peine; cette couche est interrompue en dehors du protoxylème, comme dans le cas précédent d'ailleurs.

Les éléments conducteurs secondaires n'existent pour ainsi dire presque pas.

4° *Lumière bleue*. — Les racines éclairées par cette espèce de lumière présentent, approximativement, le même état de développement que celles de la lumière rouge.

8. *Phaseolus multiflorus* (Haricot blanc).

Les dimensions relatives des diverses régions de la racine de cette plante sont consignées dans le tableau suivant :

NATURE DES RADIATIONS.	DIAMÈTRE DU CYLINDRE CENTRAL.	ÉPAISSEUR DE L'ÉCORCE.	DIAMÈTRE TOTAL DE LA RACINE.
	millim.	millim.	millim.
Rouges.....	0,264	0,275	0,933
Vertes.....	0,253	0,240	0,860
Bleues.....	0,319	0,440	1,364

1° *Lumière blanche*. — Le cylindre central comprend quatre faisceaux ligneux primaires, qui se touchent au centre de la racine. Le liber primaire est composé de deux régions, l'une interne, formée de fibres à parois épaissies et lignifiées, l'autre externe en dehors de l'îlot fibreux et en contact immédiat avec le péricycle.

Cette dernière région, qui est composée d'éléments à paroi mince et cellulosique, est complètement détruite par écrasement. La couche génératrice libéroligneuse forme un anneau continu; elle a donné naissance tout autour à du bois secondaire. L'écorce ne présente pas de caractères importants à signaler, si ce n'est que l'assise pilifère est à peu près complètement détruite.

2° *Lumière rouge*. — Les quatre faisceaux ligneux primaires se rencontrent, comme dans le cas précédent, au

centre de la racine. Les îlots fibreux des faisceaux libériens sont composés de cellules à paroi moins lignifiée que dans la lumière blanche. La couche génératrice ne se présente pas sous la forme d'un anneau continu, mais sous forme d'arcs intralibériens, interrompus en dehors du protoxylème; on trouve cependant quelquefois, en ces endroits, des cellules isolées, divisées par une cloison tangentielle.

3° *Lumière verte*. — Tous les tissus du cylindre central sont moins développés que chez les plantes qui ont été cultivées derrière l'écran rouge. C'est ainsi que les faisceaux vasculaires primaires sont composés de vaisseaux moins nombreux et à diamètre plus petit que dans la lumière rouge; il n'existe qu'un ou deux vaisseaux larges au centre de la racine, là où les quatre faisceaux se rencontrent, tandis qu'il en existait de trois à quatre dans le cas précédemment décrit. La portion de liber primaire qui se trouve en contact avec le péricycle n'est pas écrasée, comme dans les racines qui ont été éclairées par la radiation totale ou la lumière rouge. L'îlot de fibres libériennes est composé de cellules très peu lignifiées et se colorant à peine par les réactifs caractéristiques de la lignine.

La couche génératrice est sous forme d'arcs; elle n'est pas encore différenciée en dehors du protoxylème. Les éléments conducteurs secondaires commencent à peine à se développer, çà et là.

4° *Lumière bleue*. — Les plantes qui ont poussé derrière les écrans bleus ont, dans leurs racines, à peu de chose près la même structure que dans la lumière rouge.

En résumé, la morphologie interne de la racine nous fournit les résultats suivants :

1° Le diamètre du cylindre central et l'épaisseur de l'écorce ne présentent pas les mêmes dimensions chez les plantes exposées dans les diverses radiations : le maximum de ces dimensions est atteint dans les lumières bleue et rouge; le minimum dans la lumière verte. Comme pour

l'épaisseur de la feuille, les dimensions de l'écorce et du cylindre central de la racine sont moins grandes dans le rouge que dans le bleu.

2° On observe des différences analogues pour le développement du bois et du liber, pour le fonctionnement de l'assise génératrice libéroligneuse, pour la lignification des parois. Au bout du même temps, dans les radiations vertes le bois primaire présente très peu de vaisseaux, la différenciation des éléments conducteurs secondaires est le moins avancée. Il en est de même de la lignification des parois des vaisseaux et des cellules du tissu mécanique. Ce sont les racines de la lumière verte qui se rapprochent le plus, par leur structure, de celles de l'obscurité. A la lumière rouge, la différenciation est déjà plus considérable; enfin, dans la lumière bleue, les racines présentent des caractères de structure qui les rapprochent le plus des racines qui ont poussé dans la lumière blanche.

CHAPITRE III

TIGE.

A. — Morphologie externe.

En ce qui concerne la morphologie externe des tiges des plantes que j'ai étudiées sous l'influence des différentes lumières colorées, je ne donnerai pas beaucoup de détails, et cela d'autant plus que les résultats auxquels je suis arrivé, quant à la longueur de ces organes, sont identiques à ceux obtenus par M. Wiesner; les données de ce botaniste peuvent être considérées, en effet, comme les plus exactes jusqu'à présent.

Cependant, je donne, dans les tableaux qui suivent, une partie des résultats que j'ai obtenus. Les mesures de la longueur des tiges ont été faites toujours à la fin de la culture, qui durait un nombre variable de jours, en général de quinze à quarante. Je n'ai pas prolongé plus longtemps la durée de

la végétation, entre autres pour le motif suivant : quand on cultive les plantes dès la graine, il faut arrêter l'expérience avant ou, du moins, peu après la consommation complète des réserves de l'albumen ou des cotylédons. Autrement, on pourrait obtenir, en ce qui concerne la longueur de la tige, des résultats tout à fait contraires, résultats dus aux troubles apportés par l'inégalité dans l'énergie de l'assimilation chlorophyllienne ; celle-ci est, en effet, après la consommation des réserves, la principale fonction qui contribue à la nutrition de la plante. En effet, en cultivant une plante d'une part derrière l'écran bleu par exemple, d'autre part derrière l'écran vert, on observe que, pendant un certain temps, variable avec la nature de la plante, les tiges restent plus courtes dans la lumière bleue que dans la lumière verte. Mais si on laisse continuer la culture, on constate bientôt que les cultures entrent dans une autre phase, caractérisée par ce fait que les plantés de la première catégorie (lumière bleue), qui assimilent davantage, deviennent plus vigoureuses et que leurs tiges acquièrent *un plus grand nombre d'entre-nœuds* ; ces tiges égalent d'abord, et ensuite dépassent en longueur celles de la deuxième catégorie (lumière verte), ce qui est très naturel. Pendant la première phase de la végétation (phase de la consommation des réserves), l'inégalité dans la longueur des tiges éclairées par les différentes lumières colorées est due, presque exclusivement, à l'inégale action retardatrice de ces lumières, tandis que pendant la deuxième phase (après la consommation plus ou moins complète des réserves) l'inégalité renversée dans la longueur de ces mêmes tiges est un effet dû à l'inégale nutrition.

C'est la longue durée de ses expériences qui explique, au moins en partie, les résultats obtenus par M. Flammarion.

J'ai également limité la durée des cultures dans les expériences faites avec les plantes vivaces. La manière de procéder a été la suivante : j'ai d'abord choisi un grand nombre de pieds égaux, pris dans le même terrain et ayant poussé, autant que possible, dans les mêmes conditions climatéri-

ques. Ces plantes ont été mises dans des pots en automne. Au commencement du printemps suivant, après qu'elles avaient commencé à donner des feuilles, j'ai choisi des pieds identiques et mis en culture. Pour d'autres plantes, je me suis servi de boutures (*Salix*, *Populus*, *Ribes*, etc.). Ces boutures, prises toujours, pour la même plante, sur le même individu, ont été faites également en automne, et mises en expérience avant le développement des bourgeons, mais cependant après avoir émis quelques racines.

Tant pour les plantes cultivées dès la graine que pour les plantes vivaces, j'ai fait plusieurs expériences avec la même espèce. Dans les tableaux suivants, je donne les résultats obtenus pour chaque individu et les moyennes. Comme il y a toujours des variations individuelles, il ne faut tenir compte, en général, que de la moyenne obtenue.

Tableau I.

Arachis hypogæa (Série d'expériences n° 1, du 4 juillet au 8 août.)

NATURE DES RADIATIONS.	AXE HYPOCOTYLÉ.	1 ^{er} ENTRE-NOEUD.	2 ^e ENTRE-NOEUD.	3 ^e ENTRE-NOEUD.	4 ^e ENTRE-NOEUD.	MOYENNE DE LA TIGE.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	
Lumière rouge.....	10	6	42	45	74	»
	10	6	22	30	82	»
	8	6	20	38	85	»
	8	8	31	50	58	»
	15	11	30	51	45	»
Moyenne.	9	7	30	45	69	160 ^{mm}
Lumière verte.....	20	20	61	47	67	»
	14	14	43	50	65	»
	11	13	31	39	63	»
	16	17	44	40	63	»
	20	17	43	36	46	»
	16	20	60	43	42	»
	13	10	30	35	53	»
Moyenne.....	15	16	43	41	57	172 ^{mm}
Lumière bleue.....	8	5	14	38	52	»
	12	10	37	28	53	»
	13	8	18	35	52	»
Moyenne.....	11	7	23	33	52	136 ^{mm}

Tableau II.

Cucurbita Pepo (Série d'expériences n° 3, du 27 juillet au 16 août.)

NATURE DES RADIATIONS.	AXE HYPOCOTYLÉ.	MOYENNE.
Lumière rouge.....	160 millim. 132 —	» 146 millim.
Lumière verte.....	195 — 157 — 175 —	» » 175 millim.
Lumière bleue.....	105 — 85 — 75 —	» » 88 millim.

Tableau III.

Cannabis sativa (Série d'expériences n° 4, du 6 juillet au 16 août.)

NATURE DES RADIATIONS.	AXE HYPOCOTYLÉ.	1 ^{er} ENTRE-NOEUD.	MOYENNE DE LA TIGE.
	millim.	millim.	millim.
Lumière rouge.....	107	25	»
	94	23	»
	79	18	»
	95	14	»
	110	42	»
	80	2	»
	115	1	»
Moyenne.....	99	15	114
Lumière verte.....	160	14	»
	132	32	»
	150	37	»
	170	3	»
	155	18	»
Moyenne.....	153	20	175
Lumière bleue.....	105	18	»
	95	12	»
	90	20	»
	85	15	»
	105	20	»
	83	10	»
Moyenne.....	93	15	108

Tableau IV.

Phaseolus multiflorus (Série d'expériences n° 4, du 16 août au 6 septembre.)

NATURE DES RADIATIONS.	AXE HYPOCOTYLÉ.	1 ^{er} ENTRE-NOEUD.	2 ^e ENTRE-NOEUD.	LONGUEUR TOTALE DE LA TIGE.
	millim.	millim.	millim.	millim.
Lumière rouge.....	186	180	100	466
Lumière verte.....	260	170	75	505
Lumière bleue.....	188	134	123	445

Tableau V.

Lupinus albus (Série d'expériences n° 2, du 27 juillet au 21 août.)

NATURE DES RADIATIONS.	LONGUEUR DE L'AXE HYPOCOTYLÉ.	LONGUEUR DU 1 ^{er} ENTRE-NOEUD.	MOYENNE DE LA TIGE.
	millim.	millim.	millim.
Lumière rouge.....	126	50	»
	90	27	»
	98	30	»
Moyenne.....	104	35	139
	150	48	»
Lumière verte.....	175	46	»
	142	27	»
	130	32	»
Moyenne.....	149	38	187
	125	22	»
Lumière bleue	80	36	»
	105	42	»
	95	40	»
Moyenne.....	101	35	136

De l'examen des tableaux qui précèdent, il résulte donc que ce sont les radiations vertes qui retardent le moins la croissance, et donnent par suite les tiges les plus longues; qu'après les radiations vertes viennent les radiations rouges, et enfin les radiations bleues.

Les résultats obtenus avec le *Vicia sativa* méritent d'attirer

un instant l'attention. Voici, en effet, les données qu'a fournies l'étude de cette plante :

Tableau VI.

Vicia sativa (Série d'expériences n° 3, du 6 au 28 juillet.)

NATURE DES RADIATIONS.	1 ^{er} ENTRE-NOEUD.	2 ^e ENTRE-NOEUD.	3 ^e ENTRE-NOEUD.	4 ^e ENTRE-NOEUD.	5 ^e ENTRE-NOEUD.	6 ^e ENTRE-NOEUD.	7 ^e ENTRE-NOEUD.	8 ^e ENTRE-NOEUD.	9 ^e ENTRE-NOEUD.	MOYENNE DE LA TIGE.
	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
Lumière rouge.....	9	13	65	90	64	50	27	—	—	»
	10	15	55	88	86	68	29	—	—	»
	8	16	50	87	69	47	28	—	—	»
	13	38	66	110	51	35	—	—	—	»
	10	20	62	109	64	22	—	—	—	»
	9	10	36	95	55	53	35	—	—	»
Moyenne.....	10	16	64	99	69	47	25	—	—	»
	9	18	56	96	65	46	28	—	—	318
Lumière verte.....	19	45	58	150	92	28	—	—	—	»
	18	25	56	108	75	5	—	—	—	»
	11	24	57	112	62	4	—	—	—	»
	14	24	60	112	80	26	—	—	—	»
	18	20	67	110	75	12	—	—	—	»
	13	22	47	95	58	—	—	—	—	»
Moyenne.....	14	27	51	102	65	—	—	—	—	»
	15	26	51	112	72	10	—	—	—	290
Lumière bleue.....	5	6	27	73	51	65	65	46	29	»
	7	11	45	81	68	51	44	25	—	»
	6	8	29	89	74	57	48	33	5	»
	5	5	20	70	66	54	55	50	36	»
	7	7	38	84	56	41	38	21	—	»
	4	6	24	78	51	45	18	—	—	»
Moyenne.....	5	7	30	79	60	52	44	35	23	345

Les données de ce tableau viennent confirmer l'idée émise plus haut, concernant la durée de la végétation, savoir que les cultures qui ont été laissées longtemps après la consommation des réserves peuvent donner des résultats absolument contraires. Nous voyons qu'ici les longueurs de la tige aux diverses lumières se présentent dans un ordre exactement inverse de celui trouvé pour les autres plantes. Cet exemple nous montre que c'est dans la lumière bleue que la tige est le plus longue, dans la lumière verte qu'elle est le plus courte.

Est-ce donc une contradiction avec les résultats précédents? En aucune façon. Seulement, pour cette plante, j'ai précisément prolongé l'expérience au delà de la période de consommation des réserves. L'assimilation chlorophyllienne, qui seule actuellement nourrit la plante, est, comme on le sait, bien plus intense dans le bleu que dans le vert, d'où des plantes plus vigoureuses dans la première lumière. En effet, les plantes qui ont poussé sous l'influence de la lumière bleue ont acquis *neuf* entre-nœuds, celles qui ont été éclairées par la lumière rouge ont *sept* entre-nœuds, et enfin celles qui ont été cultivées derrière l'écran vert n'en possèdent que *six*.

Mais considérons seulement les cinq premiers entre-nœuds basilaires, pendant la formation desquels les plantes avaient encore à leur disposition les réserves de leurs cotylédons; nous verrons que les choses se sont passées pour cette plante comme pour les autres. En effet, on constate que les tiges les plus longues appartiennent aux plantes de la lumière verte; viennent ensuite celles de la lumière rouge, et enfin les tiges qui avaient été exposées à la lumière bleue. C'est ce que montrent les chiffres suivants qui représentent les moyennes des cinq premiers entre-nœuds, moyennes faites à l'aide des données du tableau précédent (Tableau VI).

Lumière rouge.....	244 millimètres.
— verte.....	276 —
— bleue.....	181 —

Notre conclusion est donc très générale, et ce dernier exemple cité fait bien ressortir la nécessité d'arrêter la végétation au moment que nous avons fixé.

B. — Morphologie interne.

Les changements de structure produits dans la tige, sous l'action des lumières colorées, sont parallèles et analogues à ceux que nous avons exposés pour la racine. En étudiant la morphologie interne de ce dernier organe, on a vu comment

varient les différents tissus de son cylindre central, principalement le bois, le liber et l'assise génératrice libéroligneuse. Je n'ai pas l'intention d'entrer dans les détails de la description de ces tissus de la tige.

Dans ce qui suit, j'étudierai d'une part les changements que subit le développement des autres tissus de la tige, et surtout de l'écorce de cet organe, et d'autre part les rapports qui existent entre le développement du cylindre central et celui de l'écorce.

A cet effet, j'ai étudié des plantes herbacées et des espèces ligneuses. Dans ce dernier cas, tantôt les sujets en expérience étaient, dès la graine, soumis aux diverses lumières, tantôt il s'agissait de petits arbres d'un ou deux ans, choisis aussi semblables que possible, et mis en culture aux diverses radiations au début du printemps, avant le développement de leurs bourgeons. Chacun des lots était toujours composé de plusieurs plants, et après un certain temps de culture j'ai choisi dans chaque lot les individus qui avaient développé le même nombre d'entre-nœuds, et je les ai étudiés comparativement.

a. — RAPPORT DU CYLINDRE CENTRAL A L'ÉCORCE.

Dans les tiges, la croissance en épaisseur de l'écorce et du cylindre central ne se fait pas avec la même intensité pour ces deux régions. En effet, pendant un temps assez long, et dans la généralité des Dicotylédones, le cylindre central s'épaissit beaucoup plus vite que l'écorce. L'épaisseur absolue de cette dernière région reste même quelquefois stationnaire, ou bien, dans certains cas, elle diminue, à cause de la poussée du cylindre central qui continue à s'accroître en diamètre. Il résulte que le rapport du cylindre central à l'écorce augmente avec l'âge. Si, en effet, on suit un certain nombre d'entre-nœuds successifs, du sommet vers la base de la tige, on constate nettement cette augmentation.

Un fait analogue s'observe pour les tiges des plantes qui

ont été cultivées dans les lumières colorées. En effet, si l'on compare ces tiges, on constate que le rapport du cylindre central à l'écorce n'est pas le même aux diverses lumières colorées; il est le plus grand dans la lumière bleue, plus petit dans la lumière rouge, et plus petit encore dans la lumière verte. En d'autres termes, le diamètre du cylindre central augmente plus vite dans la lumière bleue que dans la lumière rouge, et dans celle-ci plus rapidement que dans la lumière verte.

Voici maintenant, à titre d'exemple, une partie des mesures que j'ai obtenues pour diverses plantes. Le tout est exprimé en divisions du micromètre oculaire.

1. *Æsculus Hippocastanum*.

	Diamètre du cylindre central.	Épaisseur de l'écorce.	Rapport du cylindre central à l'écorce.
Lumière verte.....	101	12	7,25
— rouge.....	84	9	8,00
— bleue.....	96	10	8,10
— blanche.....	111	11	8,54

2. *Solanum tuberosum*.

Lumière verte.....	80	11	7,27
— rouge.....	78	9	8,66
— bleue.....	80	9	8,88

3. *Fraxinus excelsior*.

Lumière verte.....	80	12	6,66
— rouge.....	72	10	7,20
— bleue.....	71	9	7,88
— blanche.....	113	12	9,41

4. *Vicia sativa*.

Lumière verte.....	47	27	1,74
— rouge.....	50	27	1,85
— bleue.....	56	27	2,03
— blanche.....	60	26	2,31

Il en est de même pour un grand nombre d'espèces que j'ai étudiées, comme : *Pæonia*, *Quercus pedunculata*, *Syringa vulgaris*, *Faba vulgaris*, *Phaseolus multiflorus*, *Ricinus sanguineus*, *Arachis hypogæa*, *Lupinus albus*, *Cicer arietinum*, etc.

Comparons maintenant les données précédentes avec celles que j'ai obtenues en prenant des mesures sur trois entre-nœuds successifs des plantes qui ont poussé à la lumière blanche. Le premier entre-nœud est le plus jeune, le troisième le plus âgé. Comme précédemment, les mesures sont données en divisions du micromètre oculaire (Leitz, obj. 2, oc. 2).

1. *Æsculus Hippocastanum*.

	Diamètre du cylindre central.	Épaisseur de l'écorce.	Rapport du cylindre central à l'écorce.
1 ^{er} entre-nœud.....	90	12	7,50
2 ^e —	110	11	10,00
3 ^e —	116	11	10,50

2. *Solanum tuberosum*.

1 ^{er} entre-nœud.....	128	10	12,80
2 ^e —	140	10	14,00
3 ^e —	160	10	16,00

3. *Fraxinus excelsior*.

1 ^{er} entre-nœud	58	9	6,44
2 ^e —	71	9	7,88
3 ^e —	74	9	8,22

Ces trois exemples suffisent pour montrer que si, dans les tiges des plantes qui ont poussé dans les trois lumières colorées, le rapport du cylindre central à l'écorce est variable avec la nature de la lumière, cela tient à un développement plus ou moins grand du cylindre central. En d'autres termes, dans les radiations vertes les tiges se comportent comme un entre-nœud jeune, dans les radiations rouges comme un entre-nœud plus âgé, et enfin dans les radiations bleues comme un entre-nœud encore plus âgé.

b. — ÉCORCE.

Je passe maintenant à l'étude du développement relatif des tissus de l'écorce; je prends comme exemple le Marronnier d'Inde.

Æsculus Hippocastanum.

J'avais mis en expérience, au commencement du printemps, plusieurs pieds de cette plante avant le développement des bourgeons. Au bout de deux mois, les petits arbres avaient produit trois nouveaux entre-nœuds, aussi bien dans la lumière blanche que dans les lumières colorées. Les coupes faites dans l'entre-nœud basilaire de la portion de la tige formée pendant l'expérience donnent les résultats exprimés par le tableau ci-joint, dans lequel E représente le rapport de l'épaisseur totale de l'écorce à l'épaisseur de l'écorce primaire, et P le rapport de l'épaisseur totale de l'écorce à l'épaisseur du périoderme.

	Épaisseur totale de l'écorce.	Épaisseur de l'écorce primaire.	Épaisseur du périoderme.	E	P
Lumière blanche...	294 μ	192 μ	102 μ	1,53	2,88
— rouge.....	243 μ	189 μ	54 μ	1,28	4,50
— verte.....	302 μ	259 μ	43 μ	1,16	7,02
— bleue.....	288 μ	207 μ	81 μ	1,39	3,55

Aussi bien dans la lumière blanche que dans les lumières colorées, l'assise génératrice phellogénique a fonctionné et a produit un périoderme plus ou moins développé, suivant la nature des radiations. Le rapport de l'épaisseur totale de l'écorce à l'épaisseur de l'écorce primaire n'est donc pas le même chez les plantes éclairées par les diverses radiations. Après la lumière blanche, c'est dans la lumière bleue qu'il est le plus grand; il est plus faible dans la lumière rouge, et plus faible encore chez les plantes exposées à la lumière verte. Cela signifie *qu'au bout du même temps*, par rapport à l'écorce entière, c'est dans la lumière verte que l'écorce primaire présente la plus grande épaisseur relative; l'épaisseur de cette écorce montre deux valeurs moins grandes, l'une plus élevée dans la lumière rouge, l'autre plus faible dans la lumière bleue. Mais cela ne veut pas dire que l'écorce primaire a toujours été plus grande dans le vert que dans le rouge, et dans le

rouge que dans le bleu. Ce résultat, obtenu au bout du même temps, tient à l'inégale précocité des formations secondaires du cylindre central. L'écorce primaire, développée sous le verre bleu, se trouve comprimée et aplatie par les formations secondaires *plus tôt* que sous les verres vert et rouge. L'épaisseur absolue de l'écorce primaire est évidemment en relation avec la rapidité du développement du cylindre central. En effet, nous avons montré plus haut

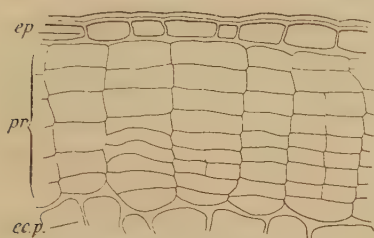


Fig. 17. — *Acer Pseudoplatanus*; développement du périderme à la lumière blanche; ep, épiderme; pr, périderme; cc.p., écorce primaire.

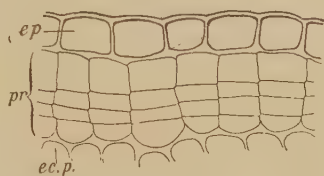


Fig. 18. — *Acer Pseudoplatanus*; développement du périderme à la lumière rouge; ep, épiderme; pr, périderme; cc.p., écorce primaire.

que le cylindre central augmente en diamètre plus rapidement dans le bleu que dans le rouge, et dans celui-ci que dans le vert. Or, comme l'a montré M. Eberhardt (1), l'écorce peut suivre, sans se rompre, l'accroissement rapide du cylindre central. Les phénomènes dont l'écorce est le siège et les modifications qu'elle subit, sous la poussée du cylindre central, sont multiples et variables avec les espèces. Tantôt il y a formation de lacunes, tantôt il se produit des cloisonnements radiaux, tantôt enfin il y a écrasement d'un certain nombre d'assises de cellules à parois minces et peu résistantes à la pression exercée par le cylindre central. Chez le Marronnier d'Inde, on observe à la fois formation de lacunes et écrasement de cellules. Ceci étant donné, on comprend donc très facilement pourquoi l'écorce primaire, qui est formée de cellules à parois cellu-

(1) Eberhardt, *Modifications dans l'écorce primaire chez les Dicotylédones* (C. R. de l'Acad. des Sc., 13 févr. 1899).

losiques, n'a pas la même épaisseur relative dans les diverses espèces de radiations lumineuses. Là où le cylindre central présentera le plus grand diamètre relatif, l'écorce primaire sera devenue, à un certain moment, la moins épaisse, et inversement. Or, comme le diamètre relatif du cylindre central augmente plus rapidement dans le bleu que dans le rouge, et dans le rouge que dans le vert, l'épaisseur de l'écorce primaire, par suite de son aplatisse-

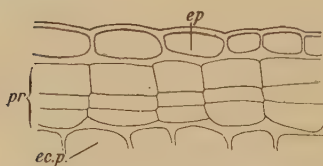


Fig. 19. — *Acer Pseudoplatanus*; développement du périoderme à la lumière verte; ep, épiderme; pr, périoderme; ec.p., écorce primaire.

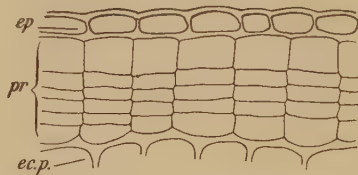


Fig. 20. — *Acer Pseudoplatanus*; développement du périoderme à la lumière bleue; ep, épiderme; pr, périoderme; ec.p., écorce primaire.

ment, diminue plus dans le bleu que dans le rouge, et dans le rouge que dans le vert.

Quant au périoderme, c'est dans la lumière bleue qu'il atteint le maximum d'épaisseur; vient ensuite, dans l'ordre décroissant, la lumière rouge, la lumière verte.

Ce que nous avons vu chez le Marronnier d'Inde s'applique également aux autres plantes ligneuses que j'ai étudiées. comme on peut s'en convaincre en examinant les tableaux suivants :

Quercus pedunculata.

	Épaisseur totale de l'écorce.	Épaisseur de l'écorce primaire.	Épaisseur du périoderme.	E	P
Lumière blanche...	205 μ	143 μ	62 μ	1,43	3,30
— rouge.....	148 μ	113 μ	35 μ	1,30	4,22
— verte.....	148 μ	121 μ	27 μ	1,23	5,48
— bleue.....	135 μ	98 μ	37 μ	1,37	3,64

Acer Pseudoplatanus (fig. 17, 18, 19, 20).

Lumière blanche...	329 μ	246 μ	83 μ	1,33	3,96
— rouge.....	351 μ	276 μ	75 μ	1,27	4,68
— verte.....	272 μ	227 μ	45 μ	1,19	6,04
— bleue.....	245 μ	189 μ	56 μ	1,29	4,37

Syringa vulgaris.

Lumière blanche...	186 μ	105 μ	81 μ	1,77	2,29
— rouge.....	172 μ	135 μ	37 μ	1,27	4,64
— verte.....	194 μ	162 μ	32 μ	1,19	6,06
— bleue.....	221 μ	150 μ	71 μ	1,46	3,11

CONCLUSIONS

Les principaux résultats qui ont été obtenus en étudiant l'influence des radiations de différentes réfrangibilités sur les plantes peuvent être résumés comme il suit :

1. — Feuille.

1° Le limbe présente toujours le maximum de surface chez les plantes exposées à la lumière bleue ; c'est sous l'action des radiations vertes que cette surface est le plus petite, tandis que dans la lumière rouge les limbes ont des surfaces intermédiaires. Ce sont, par conséquent, les feuilles des plantes qui poussent dans la lumière bleue qui se rapprochent le plus, par la surface de leur limbe, des feuilles qui se sont développées à la lumière blanche ; l'effet produit par la lumière verte se rapproche le plus de l'effet produit par l'obscurité.

2° Quant à la longueur du pétiole, on peut distinguer deux groupes de plantes :

a. Chez beaucoup d'espèces, les pétioles se comportent comme des tiges : les pétioles les plus longs appartiennent aux tiges les plus longues et aux limbes les plus réduits. Ce sont donc les radiations vertes qui produisent la plus grande taille et les bleues la taille la plus courte ; dans la lumière rouge, l'effet obtenu est intermédiaire. Exemples : *Pæonia*, *Oenothera*, etc.

b. Dans d'autres espèces, on observe précisément le contraire, c'est-à-dire que les modifications sont toujours

comparables de la même manière à celles obtenues lorsqu'on compare la lumière totale à l'obscurité complète : les pétioles les plus longs appartiennent aux tiges les plus courtes et aux limbes les plus grands. C'est chez les plantes éclairées par la lumière verte qu'on trouve les pétioles les plus courts : viennent ensuite, dans l'ordre croissant, la lumière rouge et la lumière bleue. Exemples : *Ricinus*, *Polygonum Fagopyrum*, *Rubus*, etc.

3° Quand la plante présente à la base de la tige une rosette de feuilles charnues et dépourvues de pétiole (*Sempervivum tectorum*, *S. arachnoideum*, etc.), ces feuilles s'accroissent en longueur comme des tiges, mais l'effet est notablement moindre que pour ces derniers organes. Les feuilles les plus longues appartiennent aux plantes éclairées par la lumière verte, les plus courtes aux plantes ayant poussé derrière l'écran bleu, tandis que les feuilles éclairées par la lumière rouge présentent une longueur intermédiaire. En même temps, ces feuilles sont d'autant moins larges qu'elles sont plus longues. Elles se distinguent aussi par ce fait, qu'au lieu d'être dressées et hyponastes, comme cela arrive à la radiation totale, elles sont horizontales et toujours épinastes.

4° Les diverses lumières colorées dont je me suis servi sont moins favorables au développement des tissus de la feuille que la lumière blanche.

5° Les épaisseurs des tissus palissadique et lacuneux, ainsi que la largeur moyenne des lacunes aérifères, ont un minimum de développement dans le vert. Ces diverses dimensions sont plus grandes dans le rouge et encore plus dans le bleu. Le développement du tissu assimilateur et du système aérifère varie par conséquent dans le même sens que l'action retardatrice des différentes radiations sur la croissance de la tige.

6° Les chloroleucites présentent quant à leur volume, leur nombre et leur disposition, des variations analogues à celles énoncées pour le tissu assimilateur : ils sont dans la lumière

verte plus petits, moins nombreux, à contours vagues, disposés sans ordre dans la cellule et contiennent moins de chlorophylle que dans les lumières rouge et bleue. Dans ces dernières lumières, les chloroleucites sont toujours nettement visibles, plus grands et disposés plus régulièrement le long des parois de la cellule; ils sont plus gros et plus verts dans le bleu que dans le rouge, dans celui-ci plus que dans le vert.

7° Le nombre des stomates par unité de surface est plus grand dans le vert que dans le rouge et dans le rouge que dans le bleu. Mais, comme je l'ai déjà remarqué ailleurs, cela ne veut pas dire que le nombre total des stomates est plus grand sur une feuille qui a été éclairée par la lumière verte, que sur une feuille qui a poussé dans le rouge ou dans le bleu. Ce nombre est en réalité le même pour les trois espèces de lumières colorées, parce que les cellules se divisent avec la même rapidité, et par conséquent le nombre total des cellules est, approximativement, le même dans les trois sortes de feuilles, comme je l'ai constaté par des mesures spéciales. Cela est d'ailleurs en concordance avec les faits observés en comparant les feuilles étiolées avec les feuilles cultivées en pleine lumière : il y a beaucoup plus de stomates, par unité de surface, dans le premier cas que dans le second. Or, Prantl (1) a montré que, chez la feuille qui se développe dans une obscurité complète et qui a son limbe très réduit, il se fait un grand nombre de divisions cellulaires. Sur la largeur de la feuille primordiale de *Phaseolus*, le nombre des cellules était, en effet, dans la graine non germée de 343, chez la plante étiolée de 1 375 à 2 571, chez la plante verte normale de 1 429 à 2 273.

8° Quant au développement du bois, du liber et du tissu cambial des nervures, ainsi que de la lignification des parois des cellules, la marche est la même que pour les mêmes tissus de la racine et de la tige, que je vais décrire.

(1) Prantl, *Arbeiten des bot. Inst. zu Würzburg*, fasc. III, p. 384.

2. — Racine.

Si nous considérons la croissance de cet organe et si nous nous reportons aux résultats obtenus dans la comparaison de ce même organe à la lumière et à l'obscurité, nous constatons que :

1° Pour une plante chez laquelle la lumière blanche retarde la croissance de la racine (*Lupinus albus*, *Faba vulgaris*, *Phaseolus multiflorus*, etc.), c'est la lumière bleue qui la retarde le plus, et alors, c'est à la lumière verte que les racines atteignent leur plus grande longueur, bien qu'elles soient encore moins longues qu'à l'obscurité.

2° Quand, au contraire, les racines d'une espèce sont plus longues à la lumière blanche qu'à l'obscurité (*Lepidium sativum*), c'est dans la lumière bleue qu'elles sont également les plus longues, et c'est sous l'influence des radiations vertes qu'elles atteignent leur plus faible dimension.

3° Quand, enfin, il n'y a que peu de différences entre les longueurs, à la lumière totale et à l'obscurité (*Vicia sativa*, etc.); il y en a également peu entre les longueurs obtenues aux diverses lumières colorées.

Quant à la morphologie interne, on constate :

4° Le diamètre du cylindre central et l'épaisseur de l'écorce ne présentent pas les mêmes dimensions chez les plantes exposées dans les diverses radiations : le maximum de ces dimensions est atteint dans les lumières bleue et rouge, le minimum dans la lumière verte. Comme pour l'épaisseur de la feuille, les dimensions de l'écorce et du cylindre central de la racine sont moins grandes dans le rouge que dans le bleu.

5° On observe des différences analogues pour le développement du bois et du liber, pour le fonctionnement de l'assise génératrice libéroligneuse, pour la lignification des parois. Dans les radiations vertes, le bois primaire présente très peu de vaisseaux, la différenciation des élé-

ments conducteurs secondaires est le moins avancée. Il en est de même de la lignification des parois des vaisseaux et des cellules du tissu mécanique. Ce sont les racines exposées à la lumière verte qui se rapprochent le plus, par leur structure, de celles qui croissent à l'obscurité. A la lumière rouge, la différenciation est déjà plus considérable ; enfin, dans la lumière bleue, les racines présentent des caractères de structure qui les rapprochent beaucoup des racines de la lumière blanche.

3. — Tige.

1° Parmi les trois espèces de lumières que j'ai employées (rouge, verte, bleue), ce sont les radiations vertes qui retardent le moins la croissance et donnent par suite les tiges les plus longues ; après les radiations vertes, viennent les radiations rouges, et enfin les radiations bleues. Cela n'est vrai, bien entendu, que si les cultures ne sont pas maintenues longtemps après la consommation des réserves ; autrement les résultats obtenus ne sont plus comparables, car l'assimilation permet aux plantes dans la lumière bleue de continuer à se développer, tandis que les plantes périssent dans la lumière verte ;

2° Le développement des éléments conducteurs primaires et secondaires, le fonctionnement de l'assise génératrice libéroligneuse, la lignification varient dans le même sens que pour la racine ;

3° Le diamètre du cylindre central de la tige augmente plus rapidement dans la lumière bleue que dans la lumière rouge, et dans celle-ci plus rapidement que dans la lumière verte. Par suite de la précocité plus ou moins grande des formations secondaires, l'écorce primaire se trouve plus rapidement comprimée et aplatie dans le bleu que dans le rouge, dans le rouge que dans le vert ;

4° Le périderme de la tige présente un minimum de développement dans la lumière verte ; il est plus développé dans le rouge, plus encore dans le bleu.

COMPARAISON DES RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES AVEC LES
RÉSULTATS DÉJÀ CONNUS.

En définitive, si nous considérons les résultats exposés plus haut, on constate que c'est toujours la lumière verte qui est la plus défavorable au développement de la plante; en outre, les plantes éclairées par cette lumière périssent souvent après un temps relativement court, par rapport à la période de végétation de l'espèce considérée et cultivée dans les conditions normales. C'est dans la partie la plus réfrangible du spectre (représentée dans mes expériences par les radiations bleues et indigos), que les plantes poussent le mieux et présentent le maximum de développement de tous leurs tissus. Les radiations les moins réfrangibles (représentées dans mes expériences par les radiations rouges et une faible partie des radiations orangées) sont un peu moins favorables que les radiations de l'autre extrémité du spectre, mais elles permettent un développement beaucoup plus grand que les radiations vertes.

Tâchons maintenant d'expliquer, autant qu'il est possible, les résultats que j'ai obtenus. Pour cela, il faut nous rappeler comment varient sous l'influence des radiations des différentes réfrangibilités les principaux phénomènes dont la plante est le siège.

Je commence par le phénomène de la production de la chlorophylle. Tous les observateurs sont d'accord sur ce point que tous les rayons du spectre, pris séparément, peuvent déterminer la production de la chlorophylle. D'après Reinke (1), le maximum d'action revient aux radiations comprises entre les raies B et D de Fraunhofer (rouge, orangé, jaune). Il en est de même pour Wiesner (2), qui place ce maximum entre les raies B et E (radiations rouges, orangées, jaunes et une partie des vertes).

(1) Reinke, *Sitzungsb. der Berliner Akad.*, 1893, p. 536.

(2) Wiesner, *Die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze*. Wien, 1877.

La moitié la plus réfrangible du spectre a une influence moindre. Cependant Wiesner (1) a montré que cela n'est vrai que pour le cas où l'intensité de la lumière n'est pas assez grande pour décomposer une solution de chlorophylle pendant quelques heures. Il a trouvé, en effet, que dans une lumière diffuse dans laquelle une solution de chlorophylle commence déjà à se décomposer au bout de quelques heures, les plantes verdissent à peu près tout aussi vite dans les deux moitiés du spectre; enfin que les plantes étiolées verdissent plus rapidement sous l'action des radiations les plus réfrangibles que sous l'action des rayons les moins réfrangibles, si on expose les plantes en expérience à l'influence d'une lumière très forte (lumière solaire directe).

Wiesner explique ce phénomène de réversibilité de la manière suivante. A la lumière diffuse, la chlorophylle ne se décompose pas; toute la chlorophylle formée subsiste. Comme dans les lumières jaune, orangée et verte, la chlorophylle se forme plus vite que dans les lumières bleue et violette: il en résulte qu'il y aura plus de chlorophylle dans les plantes exposées aux premières espèces de lumières que dans les dernières. Sous l'action d'une lumière forte, la chlorophylle se décompose plus vite dans les lumières orangée, jaune et verte, que dans les lumières violette et bleue.

Par conséquent, toute la chlorophylle qui se forme à la lumière diffuse subsiste, tandis qu'à la lumière solaire directe, il ne reste que la différence entre la quantité produite et la quantité détruite. Or, cette différence est, à une lumière très forte, une quantité plus petite dans la moitié la moins réfrangible du spectre que dans la moitié la plus réfrangible.

Or, dans mes expériences, les plantes étaient plus vertes derrière l'écran bleu que derrière l'écran rouge; cela tient

(1) Wiesner, *Untersuch. über die Bezieh. d. Lichtes zum Chlorophyll* (Sitzungsb. d. k. Akad., Bd LXIX. Wien, 1874).

évidemment à ce fait que mes expériences ont été faites en pleine lumière solaire. Les feuilles des plantes que j'ai cultivées présentaient les différences de teinte indiquées dans le travail de M. Griffon (1) (Pl. III et IV, fig. 10_a, 10_b, 10_c) (2). Quant aux plantes qui ont poussé derrière l'écran vert, dont je me suis servi, elles étaient toujours moins vertes que dans le rouge et que dans le bleu.

Étant donné ce fait que dans les trois sortes de culture, les plantes n'avaient pas la même quantité de chlorophylle, il est évident que les plantes les plus vertes doivent assimiler plus que les autres. Ce que d'ailleurs a montré M. Griffon (3), qui, prenant des feuilles des plantes que je cultivais, et les faisant assimiler à la lumière blanche, a trouvé que pour l'*Arachis hypogæa* les différences étaient les suivantes. Au bout d'une demi-heure, les feuilles provenant de la lumière bleue avaient dégagé par unité de surface 0^{cc},054 d'oxygène; celles qui provenaient de la lumière rouge 0^{cc},041, et enfin celles qui provenaient de la lumière verte 0^{cc},027.

Pour le *Zea Mays*, l'auteur a trouvé comme quantité d'oxygène dégagé, par unité de surface, les chiffres suivants : 2^{cc},44; 1^{cc},60; 0^{cc},82.

Or, comme la surface de l'ensemble des feuilles est plus petite dans le vert que dans le rouge et dans le rouge que dans le bleu, les différences d'assimilation totale sont bien plus grandes encore. Si l'on se rappelle, en outre, que la structure des feuilles varie dans le même sens que le verdissement (et sans contredit à cause de la variation même de ce verdissement), on s'explique très bien pourquoi les plantes cultivées derrière les trois espèces d'écrans colorés présentent, dans leur développement, les différences que nous avons vues.

(1) E. Griffon, *L'assimilation chlorophyllienne et la coloration des plantes* (Ann. des Sc. nat., Botanique, 1899).

(2) Ces figures ont été exécutées d'après des feuilles que j'ai mises à la disposition de M. Griffon pour étudier l'assimilation chlorophyllienne.

(3) E. Griffon, *loc. cit.*

D'autre part, M. Wiesner (1) a montré que la transpiration est plus énergique dans les lumières bleue et violette que dans les lumières rouge, orangée et jaune, c'est-à-dire que les radiations qui retardent le plus la croissance accélèrent le plus la transpiration.

Or, la transpiration a une influence importante sur la forme des plantes. Kohl (2) a montré que la longueur des entre-nœuds et la grandeur des feuilles sont en relation avec la quantité d'eau transpirée; d'après le même auteur, la structure des plantes dépend également de la transpiration. Dernièrement, M. Palladine (3) a proposé une explication de la forme des feuilles étiolées, en admettant qu'à l'obscurité c'est la diminution de la transpiration qui détermine le phénomène de l'étiollement. En effet, on sait depuis longtemps, et surtout depuis les recherches de Baranetzky (4) et de Wiesner (5), que les plantes transpirent moins à l'obscurité qu'à la lumière. Toutefois, d'après M. Palladine, ce qu'il importe de considérer pour expliquer l'étiollement, c'est moins la faible quantité d'eau transpirée à l'obscurité que la modification du rapport entre la transpiration de la feuille et celle de la tige. Considérons le *Vicia Faba* par exemple. A la lumière, les feuilles étant vertes, la transpiration a lieu surtout par ces organes, qui attirent ainsi sans cesse l'eau de la tige; celle-ci tend donc continuellement à manquer d'eau; elle ne développe que de très courts entre-nœuds. A l'obscurité, au contraire, où la couleur des feuilles ne peut plus avoir d'action, c'est la tige de la plante étiolée qui, à cause de sa grande surface, présente la transpiration la plus active.

(1) Wiesner, *Recherches sur l'influence de la lumière et de la chaleur rayonnante sur la transpiration des plantes* (Ann. des Sc. nat., 6^e série, IV, 1877), et *Sitzungsber. der k. Akad. d. Wiss. zu Wien*, LXXIV, 1876.

(2) Kohl, *Die Transpiration d. Pflanzen und ihre Einwirkung auf die Ausbildung pflanzlicher Gewebe*, Marburg, 1886.

(3) Palladine, *Transpiration als Ursache der Formänderung etiolirter Pflanzen* (Ber. d. deutsch. bot. Gesellsch., VIII, 1890).

(4) Baranetzky, *Ueber d. Einfluss einiger Bedingungen auf die Transpiration d. Pflanzen* (Bot. Zeit., 1872).

(5) Wiesner, *loc. cit.*, p. 477.

Ce sont alors les feuilles qui, à leur tour, manquent d'eau et ne se développent plus. Chez les plantes sans chlorophylle, il se produit même à la lumière, à cause de l'absence de la matière verte, ce qui n'a lieu chez le *Vicia Faba* qu'à l'obscurité. Cela s'explique par le fait que, quel que soit l'éclairement, les surfaces de transpiration seules sont à considérer, et la tige a, sous ce rapport, toujours l'avantage sur les feuilles; les limbes de celles-ci restent donc petits, se développant d'autant moins qu'elles contiennent moins de pigments chlorophylliens. Quelques autres exemples, cités par M. Palladine, semblent bien montrer que l'étiollement est dû à ces modifications du rapport de la transpiration des différents organes.

On peut citer l'expérience suivante de M. Palladine : des plantules de *Vicia Faba* étant placées à l'obscurité, on entoure leur tige de caoutchouc. La transpiration de cette tige est ainsi amoindrie, l'eau n'est donc plus enlevée aux feuilles, comme précédemment; on constate alors que ces feuilles se développent normalement.

Revenons aux résultats que j'ai obtenus; j'ai constaté que le limbe présente toujours le maximum de surface chez les plantes exposées à la lumière bleue; que c'est sous l'action des radiations vertes que cette surface est la plus petite, tandis que dans le rouge les limbes ont des surfaces intermédiaires. Or, aussi bien la méthode des écrans absorbants que celle du spectre donnent les valeurs suivantes pour la transpiration en une heure (1).

1. *Maïs* (méthode du spectre).

Rouge.	35 milligr.
Jaune orangé.	31 —
Vert.	30 —
Bleu.	40 —
Obscurité.	24 —

2. *Maïs* (méthode des écrans absorbants).

Lumière jaune (bichromate de potasse)	421 milligr.
— verte (dissolution de chlorophylle).	417 —
— bleu (solution cupro-ammoniacale).	434 —
Obscurité.	400 —

(1) Wiesner, *loc. cit.*

M. Van Tieghem (1) dit même qu'il est probable que la légère augmentation de la *transpiration chlorophyllienne*, observée dans le vert, est uniquement due à l'augmentation de la *transpiration proprement dite*, par ces rayons. S'il en est ainsi, la chlorovaporisation n'a pas lieu du tout dans les rayons verts. Cela est d'autant plus probable que les recherches de MM. Bonnier et Mangin (2), confirmées par celles de Henslow (3), prouvent que les rayons lumineux agissent dans le même sens sur la transpiration des plantes vertes que sur celle des plantes sans chlorophylle, telles que les Champignons.

Si l'on ne tient compte que de la transpiration, on peut donc expliquer la forme et même, jusqu'à un certain point, le développement des espaces aérifères du mésophylle des feuilles éclairées par les trois sortes de lumières colorées dont je me suis servi dans mes expériences.

Un autre point intéressant à considérer, c'est la formation des substances albuminoïdes dans les plantes.

Quoique, en ce qui concerne l'influence de la lumière et de l'obscurité sur la production de ces substances, les recherches soient pour la plupart contradictoires, il paraît que la synthèse des matières albuminoïdes, aux dépens des substances nutritives organiques ou inorganiques, se fait beaucoup mieux à la lumière qu'à l'obscurité [Hansteen (4), Godlewski (5), Palladine (6), Laurent, Marchall et Carpiaux (7)]. Or, MM. Lau-

(1) Van Tieghem, *Traité de botanique*, 2^e édit., 1891, p. 187 (en note).

(2) Bonnier et Mangin, *Recherches sur la respiration et la transpiration des Champignons* (Ann. des Sc. nat., 6^e série, XVII, p. 288, 1884).

(3) Henslow, *Transpiration of living protoplusma* (Journ. of Linn. Soc. London, 1888, XXIV).

(4) Hansteen, *Berichte d. deutsch. bot. Gesellsch.*, XIV, 1896.

(5) Godlewski, cité par Susuki, in *Bot. Centralblatt*, Bd LXXV, p. 289.

(6) Palladine, *Influence de la lumière sur la formation des substances azotées vivantes dans les tissus des végétaux* (C. R. de l'Acad. des Sc., t. CXXVIII, p. 377; Revue gén. de Botanique, t. XI, p. 81).

(7) Laurent, Marchall et Carpiaux, *Recherches expérimentales sur l'assimilation de l'azote ammoniacal et de l'azote nitrique par les plantes supérieures* (Bull. de l'Acad. roy. des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique, XXXII, 1896).

rent, Marchall et Carpiaux (1) soutiennent que la réduction des nitrates dans les feuilles vertes est un phénomène que domine l'action des rayons les plus réfrangibles du spectre. Il n'y a pas assimilation de l'azote nitrique par les feuilles vertes d'*Acer Negundo*, par exemple, sous les solutions de bichromate de potassium ou de sulfate de quinine. Cette assimilation est très active sous la solution de sulfate de cuivre et sous l'eau. Ce sont donc les rayons ultraviolets qui interviennent dans cette assimilation. Avec les feuilles blanches de la même espèce, il n'y a qu'une assimilation minime de l'azote ammoniacal, et peut-être elle est nulle sous les solutions de bichromate de potassium ou de sulfate de quinine; sous l'eau, elle est considérable. L'assimilation de l'azote ammoniacal est donc stimulée par les rayons ultraviolets.

D'autre part, M. Palladine dit avoir constaté que les feuilles placées dans une solution de saccharose à 5 p. 100 ou à 10 p. 100 ont donné comme résultats que, dans la moitié bleue du spectre, la régénération des matières protéiques s'effectue plus énergiquement que dans la moitié jaune du spectre (2).

Si les observations de MM. Laurent, Marchall et Carpiaux d'une part, de M. Palladine de l'autre, sont vraies, on comprend encore mieux pourquoi, dans mes cultures, les plantes cultivées derrière l'écran qui laisse passer les radiations les plus réfrangibles du spectre se développent mieux que sous l'action des radiations les moins réfrangibles.

Je veux mentionner encore les recherches qui ont été faites sur la formation des diastases. M. Green (3) s'est proposé de voir si toutes les radiations se comportent de la même manière vis-à-vis des diastases. Il a trouvé que les solutions aqueuses des amylases (amylase du malt, de la salive), ainsi que les amylases des feuilles vivantes, se

(1) *Loc. cit.*

(2) Palladine, *Revue gén. de Botanique*, t. XI, p. 81.

(3) Green, *loc. cit.*

comportent de deux manières différentes vis-à-vis de la lumière. Quelques régions du spectre accélèrent l'activité diastasique, aussi bien en solution aqueuse, que dans les feuilles vivantes; d'autres régions du spectre ont, au contraire, une action nuisible, c'est-à-dire que les diastases se détruisent sous l'action de ces radiations. L'action diastasique est représentée, pour les diverses radiations, par les nombres suivants : infrarouge + 10,8 ; rouge + 53,5 ; orangé + 4,7 ; vert — 15,7 ; bleu + 20,8. Par conséquent, ce sont les rayons verts qui sont nuisibles à la formation des diastases. Les diastases jouant un rôle très important dans les transformations des substances qui se trouvent dans la plante, on comprend encore mieux pourquoi, sous l'influence des rayons verts, les plantes non seulement se développent peu, mais encore qu'elles périssent au bout d'un temps relativement très court, par rapport à la période de végétation de l'espèce considérée et supposée cultivée dans des conditions normales.

Nous venons de passer successivement en revue les influences des diverses radiations sur la formation de la chlorophylle, sur l'assimilation chlorophyllienne, sur la transpiration des tissus verts, sur la formation des matières protéiques et sur la production ou la destruction des diastases. Or, si l'on additionne ces différents effets, produits sous l'influence des radiations de diverses couleurs, on voit que la somme des résultats favorables au développement et à la vie de la plante est plus grande dans le bleu que dans le rouge, et dans le rouge que dans le vert. L'ensemble de mes recherches donne une démonstration directe des conséquences que l'on pouvait déduire approximativement, d'après les travaux physiologiques que je viens de citer.

Mais cette démonstration directe était nécessaire; car, sans compter les faits nouveaux que j'ai pu mettre en évidence sur la forme et la structure des organes, je pense qu'elle apporte plus de netteté et plus de précision dans

l'analyse de l'action lumineuse. Cela tient surtout aux verres que j'ai employés, qui ne laissent passer, chacun, qu'une partie bien définie de la lumière, comprenant un groupe déterminé de radiations, qui correspondent presque exactement à un groupe de bandes d'absorption du spectre de la chlorophylle.

Ce travail a été fait au Laboratoire de Biologie végétale de Fontainebleau, où j'ai pu installer mes expériences dans de très bonnes conditions. J'adresse à M. Gaston Bonnier, professeur à la Sorbonne et directeur de ce Laboratoire, et à M. Dufour, directeur adjoint, mes bien vifs remerciements pour les précieux conseils qu'ils n'ont cessé de me prodiguer durant le cours de ces recherches.

EXPLICATION DES PLANCHES

LETTRES COMMUNES

L, L ₁ ou l , lumière blanche.	<i>ep. i.</i> , épiderme inférieur.
R, R ₁ ou r , lumière rouge.	<i>ch.</i> , chloroleucites.
V, V ₁ ou v , lumière verte.	<i>li. p.</i> , liber primaire.
B, B ₁ ou b , lumière bleue.	<i>fl.</i> , fibres libériennes.
O, obscurité.	<i>z. g.</i> , zone génératrice.
<i>ep. s.</i> , épiderme supérieur.	<i>b. p.</i> , bois primaire.
<i>p.</i> , parenchyme en palissade.	<i>b. s.</i> , bois secondaire.
<i>l.</i> , parenchyme lacuneux.	<i>pe.</i> , péricycle.

PLANCHE V

Spectres d'absorption des verres colorés comparés à celui de la chlorophylle.
Aspects des cultures de *Sempervivum tectorum* aux diverses lumières.

PLANCHE VI

Feuilles de *Pæonia officinalis* aux diverses lumières (L, B, R, V).
Feuilles de *Rubus fruticosus* aux diverses lumières (L₁, B₁, R₁, V₁, O).

PLANCHE VII

Faba vulgaris, coupes transversales de la feuille aux diverses lumières (R, V, B, L, O).
Faba vulgaris, cellules du parenchyme palissadique pour montrer l'aspect des chloroleucites (*ch.*) aux diverses lumières (**l**, **b**, **r**, **v**).

PLANCHE VIII

Cicer arietinum, coupes transversales de la racine, dans la lumière rouge (R) et dans la lumière verte (V).

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

ZOOLOGIE. — INFLUENCE DES DIVERSES RADIATIONS LUMINEUSES SUR LES ANIMAUX.

GÉOLOGIE. — SARMATIEN, PONTIEN, LEVANTIN DE L'EUROPE ORIENTALE.

Vu et approuvé : Paris, le 18 juillet 1899.

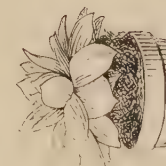
Le Doyen de la Faculté des Sciences,

G. DARBOUX.

Vu et permis d'imprimer :

Le Vice-Recteur de l'Académie de Paris,

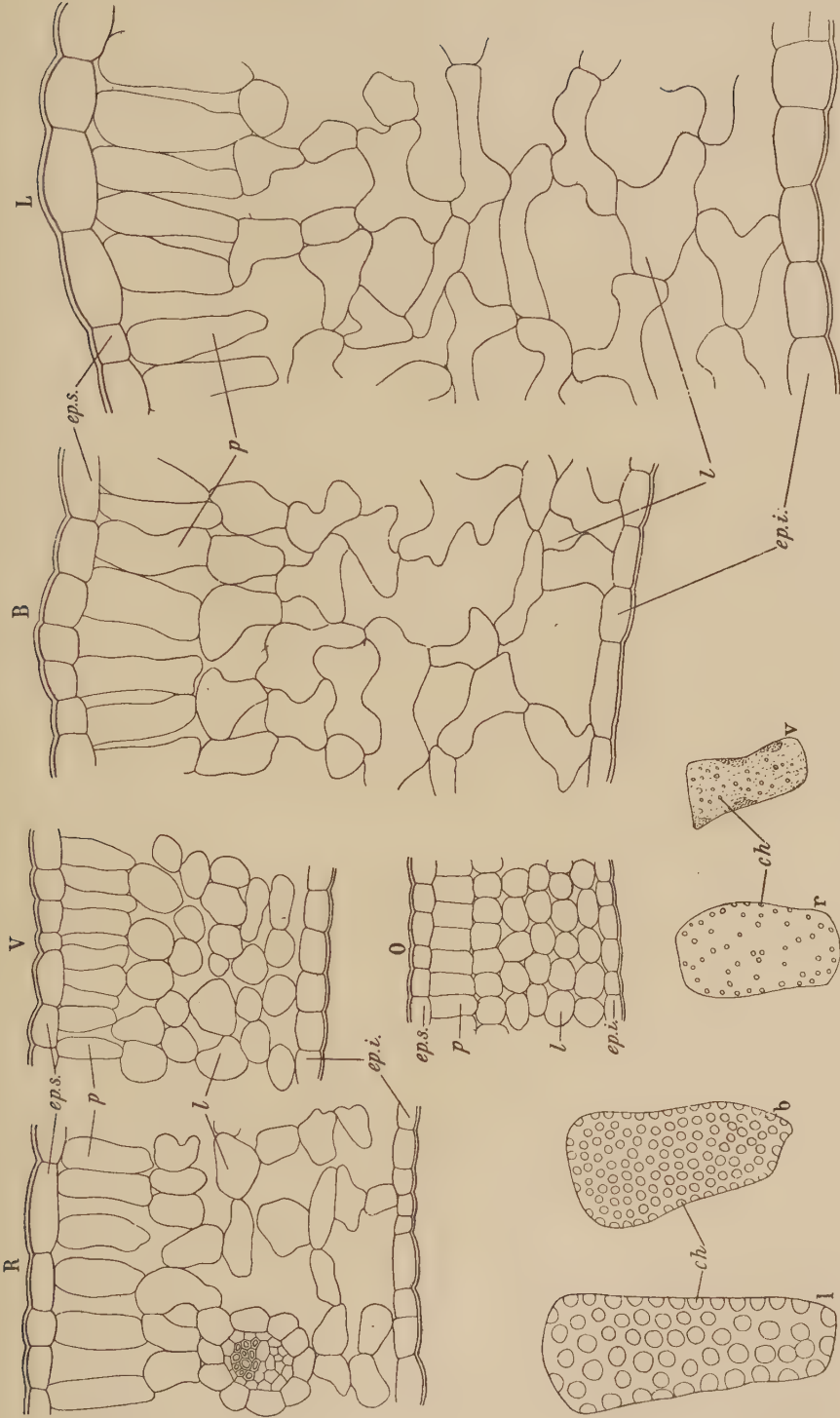
GRÉARD.



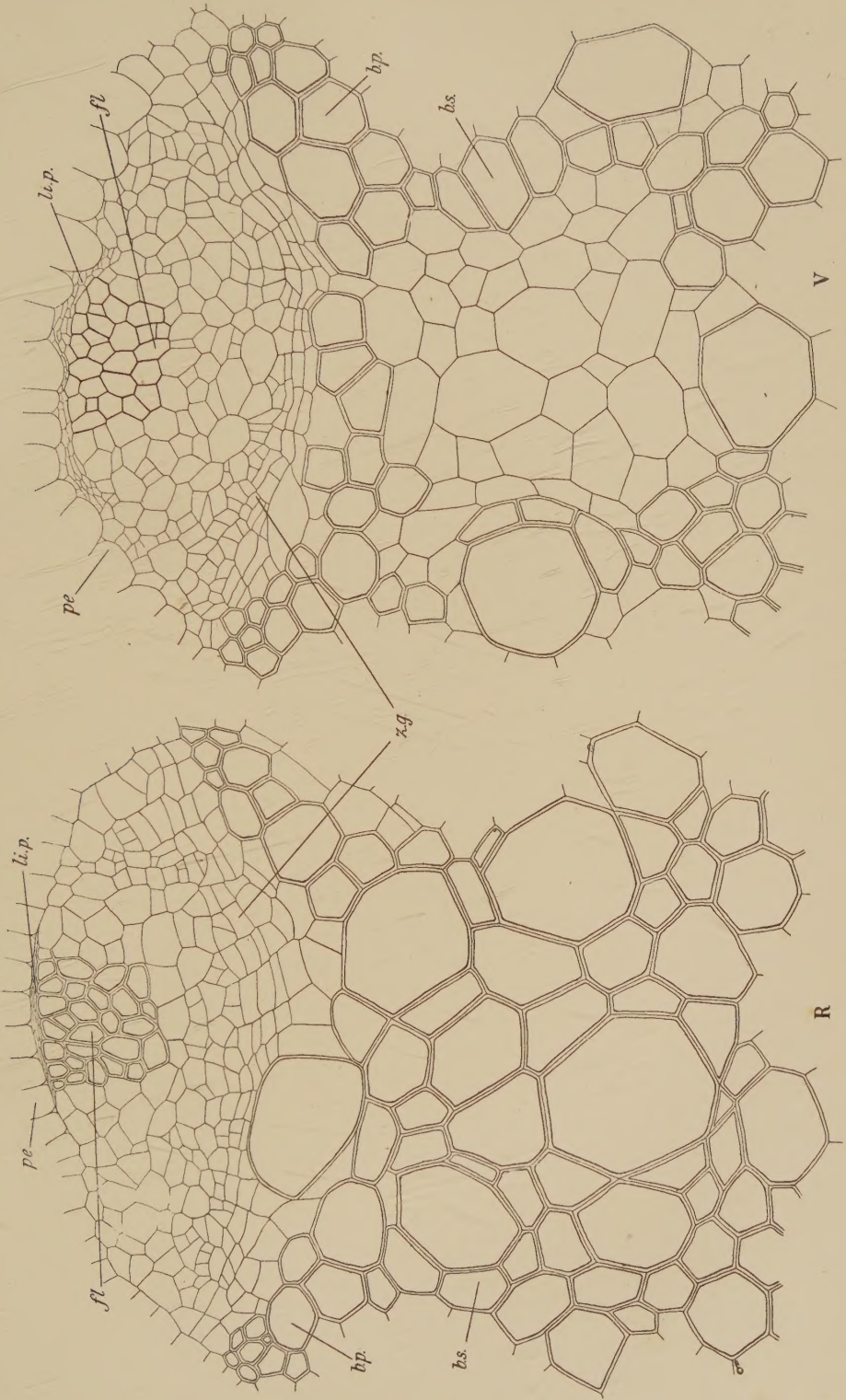
Spectres d'absorption des verres colorés comparés à celui de la chlorophylle.
L, B, R, V, aspects du *Sempervivum tectorum* dans les cultures.



L, B, R, V, *Paeonia officinalis* ; L₁, B₁, R₁, V₁, O, *Rubus fruticosus*.



Faba vulgaris.



Cicer arietinum.

R, lumière rouge; V, lumière verte.

CORBEIL. — IMPRIMERIE ÉD. CRÉTÉ.
